

**DERWENT-ACC-NO:     1999-577292**

**DERWENT-WEEK:       200138**

**COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD**

**TITLE:               Gallium-nitride group compound semiconductor laser  
                      structure - has low refractive index layer with  
                      refractive index lower than multiple clad layer,  
                      distributed over barium layer and reverse side of p-type  
                      clad layer**

**INVENTOR: FUJIMOTO, H; HATAKOSHI, G ; ITAYA, K ; NAKASUJI, M ; NUNOUE,  
S  
              ; ONOMURA, M ; SAITO, S ; SASANUMA, K ; SUGIURA, R ; YAMAMOTO, M**

**PATENT-ASSIGNEE: TOSHIBA KK[TOKE]**

**PRIORITY-DATA: 1998JP-0053353 (March 5, 1998)**

**PATENT-FAMILY:**

<b>PUB-NO</b>	<b>PUB-DATE</b>	<b>LANGUAGE</b>	<b>PAGES</b>	<b>MAIN-IPC</b>
<b>JP 11251685 A</b>	<b>September 17, 1999</b>	<b>N/A</b>	<b>024</b>	<b>H01S 003/18</b>
<b>US 6252894 B1</b>	<b>June 26, 2001</b>	<b>N/A</b>	<b>000</b>	<b>H01S 005/00</b>

**APPLICATION-DATA:**

<b>PUB-NO</b>	<b>APPL-DESCRIPTOR</b>	<b>APPL-NO</b>	<b>APPL-DATE</b>
<b>JP 11251685A</b>	<b>N/A</b>	<b>1998JP-0053353</b>	<b>March 5, 1998</b>
<b>US 6252894B1</b>	<b>N/A</b>	<b>1999US-0263213</b>	<b>March 5, 1999</b>

**INT-CL (IPC): H01L033/00, H01S003/18 , H01S005/00**

**ABSTRACTED-PUB-NO: JP 11251685A**

**BASIC-ABSTRACT:**

**NOVELTY - A p-type InAlGa<sub>N</sub> index layer (124) with lower refractive index than multiple clad layer is distributed to barium layer and reverse side of at least one clad layer.**

**DETAILED DESCRIPTION** - The semiconductor laser has barium layers (117-119) placed between clad layers (115,121) having different conductivity. The p-type InGaN light absorption layer (122) with absorbent factor higher than clad layer (121) is distributed on barium layer (118) and reverse side of p-type clad layer (121).

**USE** - Used as light source for high density information processing of optical disk.

**ADVANTAGE** - Offers low threshold value and hence enables low voltage operation.

Lowers oscillation threshold value by using optical absorption layer. Offers single FFP and suppresses flare angle and astigmatic difference. Reduces crack generation.

**DESCRIPTION OF DRAWING(S)** - The figure shows sectional view of element structure of semiconductor laser. (115,121) Clad layers; (117-119) Barium layers; (122) Light absorption layer; (124) p-type InAlGaIn index layer.

**ABSTRACTED-PUB-NO:** US 6252894B

**EQUIVALENT-ABSTRACTS:**

**NOVELTY** - A p-type InAlGaIn index layer (124) with lower refractive index than multiple clad layer is distributed to barium layer and reverse side of at least one clad layer.

**DETAILED DESCRIPTION** - The semiconductor laser has barium layers (117-119) placed between clad layers (115,121) having different conductivity. The p-type InGaIn light absorption layer (122) with absorbent factor higher than clad layer (121) is distributed on barium layer (118) and reverse side of p-type clad layer (121).

**USE** - Used as light source for high density information processing of optical disk.

**ADVANTAGE** - Offers low threshold value and hence enables low voltage operation.

Lowers oscillation threshold value by using optical absorption layer. Offers single FFP and suppresses flare angle and astigmatic difference. Reduces crack generation.

**DESCRIPTION OF DRAWING(S)** - The figure shows sectional view of element

**structure of semiconductor laser. (115,121) Clad layers; (117-119) Barium layers; (122) Light absorption layer; (124) p-type InAlGaN index layer.**

**CHOSEN-DRAWING: Dwg.1/34**

**TITLE-TERMS: GALLIUM NITRIDE GROUP COMPOUND SEMICONDUCTOR LASER  
STRUCTURE LOW**

**REFRACT INDEX LAYER REFRACT INDEX LOWER MULTIPLE CLAD LAYER  
DISTRIBUTE BARIUM LAYER REVERSE SIDE P TYPE CLAD LAYER**

**DERWENT-CLASS: L03 T03 U12 V08 W04**

**CPI-CODES: L04-A02D; L04-E03B;**

**EPI-CODES: T03-B02B1; T03-N01; U12-A01B1A; U12-A01B6; V08-A01A;  
V08-A01D;**

**V08-A04A; W04-C02A1; W04-C10A;**

**SECONDARY-ACC-NO:**

**CPI Secondary Accession Numbers: C1999-168250**

**Non-CPI Secondary Accession Numbers: N1999-426449**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-251685

(43) 公開日 平成11年(1999) 9月17日

(51) IntCl<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願平10-53353

(22) 出願日 平成10年(1998) 3月5日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 笹沼 克信

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 斎藤 真司

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 板谷 和彦

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外 6 名)

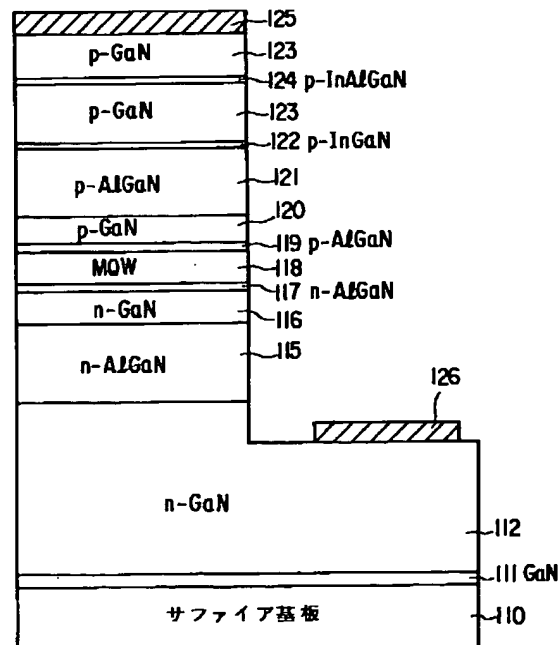
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ

(57) 【要約】

【課題】 クラックが少なく信頼性が高く、FFPが単峰性を示し、光ディスクなどへの実用に供する低しきい値、低電圧動作を可能にする。

【解決手段】 窒化ガリウム系化合物半導体からなり、MQW活性層118をp型及びn型のAlGaInクラッド層115、121で挟んだダブルヘテロ構造を有する半導体レーザにおいて、p型クラッド層121の活性層118と反対側に、クラッド層121よりも吸収率の高いp型InGaIn光吸収層122が配置され、さらにそれよりも外側にp型クラッド層121層よりも屈折率の低いp型InAlGaIn低屈折率層124が配置されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】窒化ガリウム系化合物半導体からなり、活性層を導電型の異なるクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造を有する半導体レーザであって、前記クラッド層のうち少なくとも一方のクラッド層の活性層と反対側に、該クラッド層よりも吸収率の高い光吸収層を複数配置、又は該光吸収層と前記クラッド層よりも屈折率の低い低屈折率層を配置してなることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項2】窒化ガリウム系化合物半導体からなり、活性層を導電型の異なるクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造を有する半導体レーザであって、前記活性層にキャリアを注入するためのストライプ状のメサ部が形成され、該メサ部の両側にそれぞれ少なくとも1層の窒化物系半導体からなる第1の光吸収層を形成し、且つ前記クラッド層の外側にそれぞれ少なくとも1層の窒化物系半導体からなる第2の光吸収層を形成してなることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項3】窒化ガリウム系化合物半導体からなり、活性層を導電型の異なるクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造を有する半導体レーザであって、前記ダブルヘテロ構造を挟んで該構造の両側に、素子の中で膜厚が最も厚い層に対して略格子整合しており、かつ活性層から発光される光のエネルギーよりも低いエネルギーのバンドギャップを持つ光吸収層を設けてなることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項4】窒化ガリウム系化合物半導体からなり、活性層を導電型の異なるクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造を有し、かつ発光領域としてのメサ構造を有する半導体レーザにおいて、前記活性層のバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有するInを含む光吸収層が、前記ダブルヘテロ構造よりも基板側に作り付けられていることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項5】pn接合を形成するように積層され、基本的にIII族窒化物からなる複数の層を有する積層膜と、前記pn接合に電流を供給するように前記積層膜に接合されたn側及びp側電極とを備えた半導体レーザであって、前記積層膜の前記電極との接合部分に、As又はPの少なくとも一方を含むコンタクト層を形成してなることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項6】活性層が光ガイド層で挟まれ、光ガイド層がクラッド層で挟まれた構造を備えた窒化ガリウム系化合物半導体からなる半導体レーザであって、前記光ガイド層についてp側ガイド層がn側ガイド層よりも薄い、又は前記クラッド層についてp側クラッド層がn側クラッド層よりも薄いことを特徴とする半導体レーザ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、化合物半導体材料を用いた半導体レーザに係わり、特に窒化ガリウム系材料を用いた半導体レーザに関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、GaN、InGa<sub>N</sub>、AlGa<sub>N</sub>、InAlGa<sub>N</sub>などの窒化ガリウム系化合物半導体が、青色半導体レーザの材料として注目されている。これらの材料による半導体レーザでは、短波長化により小さなビームに絞ることが可能となり、光ディスクなど高密度情報処理用の光源として期待されている。

【0003】短波長の半導体レーザとしてInGaAlP材料による600nm帯光源は、ディスクの読み込み、書き込みのどちらも可能なレベルにまで特性改善され、既に実用化されている。更なる記録密度向上を目指して青色半導体レーザの開発が盛んに行われ、II-VI族系による半導体レーザの発振動作も確認されている。また、Ga<sub>N</sub>系半導体レーザは350nm以下まで短波長が可能で、信頼性に関しても数千時間以上の室温連続発振が確認され、LEDにおいては1万時間以上の信頼性が確認されるなど有望であり、盛んに研究・開発が行われている。

【0004】ところが、この種の半導体レーザでは、しきい値電流密度を1kA/cm<sup>2</sup>以下にできず、またレーザ発振時の遠視野像(Far Field Pattern、以下FFPと省略する)が多峰性を示すため、実際に光ディスクなどの光源として用いることができる特性は得られていない。

【0005】従来の窒化ガリウム系半導体レーザでは、コンタクト層としてGa<sub>N</sub>を用い、またクラッド層としてAlGa<sub>N</sub>を用いているため、反導波(anti-index guided mode)により発振する。反導波による発振ではFFPが多峰性を示し、また導波損失が大きいため、発振しきい値は一般に高くなる。また、反導波ではレーザ発振における実効屈折率がコンタクト層よりも低いため、コンタクト層へ光がしみ出してコンタクト層の光閉じ込め係数が大きくなり、FFPにコンタクト層の光閉じ込めに対応したピークが生じる。そして、これがFFPの多峰性をもたらす要因となっているため、コンタクト層への光のめれを減少するためにクラッド層を厚くする必要があった。この結果、レーザ発振における動作電圧は高く、また結晶性の点でも格子定数の違いからクラックが多く発生して信頼性の低下をもたらせていた。

【0006】また、サファイア基板上にGa<sub>N</sub>系材料で形成したリッジ構造半導体レーザの場合、AlGa<sub>N</sub>クラッド外側の電極コンタクトのためのGa<sub>N</sub>層が発振光に対して透明であるため、クラッド層からしみ出した光が導波されるいわゆる反導波現象が発生する。そのため、基本横モードよりしきい電流の低い高次の垂直横モードによる発振が起こりやすく、さらに隣接する高次モ

ードによるモード競合により光出力のキンクやレンズでの集光が絞りにくいなどの問題が発生し、光ディスクシステム光源として使える特性を得ることは困難であった。

【0007】即ち、窒化ガリウム系化合物半導体を用いた半導体レーザにおいては、クラッド層と電極又は基板との間に存在するコンタクト層がGaN、クラッド層がAlGaNであり、実効屈折率がGaNより低く反導波で発振するため、FFPが多峰性を示し、導波損失が高く発振しきい値が高くなる。さらに、反導波ではコンタクト層の閉じ込め係数が高くなるため、この光の漏れがFFPの多峰性をもたらしめている。これを防ぐためにクラッド層のAl組成を高くするかクラッド層を厚くする必要があるが、この結果クラックが発生して信頼性が低下し、また動作電圧が高くなり、光ディスクなどへの実用に供する低しきい値、低電圧で動作し、FFPが単峰性を示す素子を実現することは困難であった。

【0008】また、クラッド層の外側にInGaNの光吸収層を設けコンタクト層への光の漏れを防止する対策を施しFFPが十分に単峰である場合でも、反導波で発振する場合には高次モードで発振することが避けられない。このとき、高次モードによる発振しきい値が最低発振しきい値と近いために、発振時にモード次数が変化するという問題が発生し、モード次数が変化するで発振周波数がずれ、レーザ光をレンズで集光する場合に焦点がずれるという問題が生じる。この結果、CDやDVD等の読み取り、書き込み用途に用いることが困難であった。

【0009】なお、窒化物系半導体では、サファイア上に成長する六方晶型結晶が現在のところ最も良好な結晶が得られている。サファイア基板は300nmから可視光領域では透明であり、屈折率がGaNに比べ低い。従来の赤色半導体レーザでは、クラッド層で閉じ込められなかった光は基板又は電極金属に吸収されるので、活性層以外に漏れ出す光は少なく反導波になることはなかった。しかし、窒化物系半導体レーザでは、基板として前述のサファイア基板を用いているので、活性層以外に光が漏れ出しモードが立つ反導波と呼ばれる現象が生じ、光ディスクやレーザプロジェクタに用いる場合に問題となる遠視野像に2つ以上のピークが生じる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】このように従来、光ディスクなどへの実用に供する低しきい値、低電圧で動作し、高い信頼性を有し、FFPが単峰な青色半導体レーザを実現するためには、AlGaNクラッド層の組成や厚さに関して相反する課題を解決することが重要であるが、未だこれらを満足する構成は得られていないのが現状である。また、電極コンタクトのためにAlGaNクラッドの外側に透明で屈折率の高いGaN層を有するため、電流狭窄構造によらず垂直横モードが不安定で、良

好なビーム特性を得るのが非常に困難であるという問題点があった。

【0011】本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、クラックが少なく信頼性が高く、FFPが単峰性を示し、光ディスクなどへの実用に供する低しきい値、低電圧で動作する窒化ガリウム系化合物半導体レーザを提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】（構成）上記課題を解決するために本発明は、次のような構成を採用している。

【0013】（1）窒化ガリウム系化合物半導体からなり、活性層を導電型の異なるクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造を有する半導体レーザにおいて、次のいずれかの構成、（1a）クラッド層のうち少なくとも一方のクラッド層の活性層と反対側に、該クラッド層よりも吸収率の高い光吸収層を複数配置してなる、（1b）クラッド層のうち少なくとも一方のクラッド層の活性層と反対側に、該クラッド層よりも屈折率の低い低屈折率層を少なくとも1層配置してなる、（1c）クラッド層のうち少なくとも一方のクラッド層の活性層と反対側に、該クラッド層よりも吸収率の高い光吸収層と該クラッド層よりも屈折率の低い低屈折率層を配置してなる、を採用したことを特徴とする。

【0014】（1-1）光吸収層は、InAlGaN又はInGaNからなること。

（1-2）光吸収層は、少なくとも一方がクラッド層と隣接すること。

（1-3）隣接する光吸収層の間隔、光吸収層と電極の間隔、若しくは光吸収層と基板の間隔が、等間隔であるか又は最小間隔の自然数倍に近いこと。

【0015】（1-4）ダブルヘテロ構造はコンタクト層により挟まれており、光吸収層をコンタクト層中に複数層配置すること。

（1-5）コンタクト層は、InGaN光吸収層とGaNとの超格子構造であること。

（1-6）活性層は、多重量子井戸構造であること。

（1-7）クラッド層に接して光吸収層を配置し、光吸収層に対しクラッド層と反対側に低屈折率層を配置すること。

【0016】（1-8）低屈折率層は、InAlGaN又はAlGaNからなること。

（1-9）隣接する低屈折率層の間隔、低屈折率層と電極の間隔、若しくは低屈折率層と基板の間隔が、等間隔であるか又は最小の間隔の自然数倍に近いこと。（1-10）低屈折率層をコンタクト層中に配置すること。

（1-11）コンタクト層が、AlGaN低屈折率層とGaNの超格子構造であること。

【0017】（2）窒化ガリウム系化合物半導体からなり、活性層を導電型の異なるクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造を有する半導体レーザにおいて、前記活性層

にキャリアを注入するためのストライプ状のメサ部が形成され、該メサ部の両側にはそれぞれ少なくとも1層の窒化物系半導体からなる第1の光吸収層が形成され、且つ該クラッド層の外側にはそれぞれ少なくとも1層の窒化物系半導体からなる第2の光吸収層が形成されてなることを特徴とする半導体レーザ。

【0018】(2-1) 光吸収層の一部は、多重量子井戸構造であること。

(2-2) 光吸収層の不純物濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であること。

【0019】(3) 窒化ガリウム系化合物半導体からなり、活性層を導電型の異なるクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造を有する半導体レーザにおいて、前記ダブルヘテロ構造を挟んで該構造の両側に、素子の中で膜厚が最も厚い層に対して略格子整合しており、かつ活性層から発光される光のエネルギーよりも低いエネルギーのバンドギャップを持つ光吸収層が設けられていることを特徴とする。

【0020】(3-1) 光吸収層は超格子で形成され、超格子を形成する化合物半導体層の少なくとも1つの層は活性層より発せられる光のエネルギーよりも低いエネルギーバンドギャップを持っており、かついずれの層も膜厚が最も厚い層には格子整合はしておらず、光吸収層全体の平均格子定数としては膜厚が最も厚い層に対して格子定数の違いが0.2%以内であること。

【0021】(3-2) 超格子が2つの2元素の化合物半導体により形成されており、平均格子定数と膜厚が最も厚い層の格子定数との違いが0.2%以内であるようにそれぞれの2元素超格子の厚さが制御されていること。

【0022】(4) 窒化物系半導体からなり、活性層を導電型の異なるクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造を有し、かつ発光領域としてのメサ構造を有する半導体レーザにおいて、前記活性層のバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有するInを含む光吸収層が、前記ダブルヘテロ構造よりも基板側に作り付けられていることを特徴とする。

【0023】(4-1) メサ構造の上部に金属電極を有し、活性層を挟んで該金属電極と反対側に光吸収層が作り付けられていること。

(4-2) 光吸収層と活性層との間隔が、金属電極と活性層との間隔に発振光に対する屈折率を考慮した距離として概略等しいこと。

(4-3) 光吸収層が多重量子井戸構造からなること。

(4-4) メサ型構造の両脇に多重量子井戸構造からなるInを含む光吸収層が設けられていること。

【0024】(5) pn接合を形成するように積層され、基本的にIII族窒化物からなる複数の層を有する積層膜と、前記pn接合に電流を供給するように前記積層膜に接合されたn側及びp側電極とを備えた半導体レーザにおいて、前記積層膜の前記電極との接合部分に、A

sを含むコンタクト層、Pを含むコンタクト層、又はAs及びPの両方を含むコンタクト層が形成されていることを特徴とする。

【0025】(6) 活性層が光ガイド層で挟まれ、光ガイド層がクラッド層で挟まれた構造を備えた窒化ガリウム系化合物半導体からなる半導体レーザにおいて、(6a) 前記光ガイド層について、p側ガイド層がn側ガイド層よりも薄い、(6b) 前記クラッド層について、p側クラッド層がn側クラッド層よりも薄い、ことを特徴とする。

【0026】(6-1) 光ガイド層は、p側ガイド層が0.02 $\mu\text{m}$ 以下であること。

(6-2) クラッド層は、p側クラッド層が0.1 $\mu\text{m}$ 以下であること。

(6-3) コンタクト層についてp側コンタクト層がn側クラッド層よりも薄く、p側コンタクト層の厚さが0.05 $\mu\text{m}$ 以下であること。

(6-4) 光ガイド層について、ガイド層組成がInGa<sub>N</sub>又はAlGa<sub>N</sub>であって、In又はAlの組成が5%以上であること。

【0027】(作用) 本発明(1)によれば、ダブルヘテロ構造を構成するクラッド層の活性層と反対側にInGa<sub>N</sub>等の光吸収層又は屈折率の低いAlGa<sub>N</sub>等の低屈折率層を設けることにより、高次モードを発振を抑制し、FFPの単峰化を可能にすることができる。即ち、Ga<sub>N</sub>等のコンタクト層中に光吸収層を設けることにより、反導波による発振においてもコンタクト層への光のしみ出しが小さく、その結果導波損失が減少し、発振しきい値も低く、発振時のFFPを単峰化することが可能となる。

【0028】また、コンタクト層中に光吸収層又は屈折率の低い層を設けることにより、高次モードによる発振を抑制し、さらにコンタクト層が超格子構造となることにより、クラックが少なく動作電圧の低い素子を得ることが可能となる。さらにまた、コンタクト層中に光吸収層又は屈折率の低い層を設けることにより、高次モードにより発振する場合には、モードの次数を固定することが可能となり、CDやDVDの光源として用いる場合にはレンズにより集光した場合のフォーカスのずれを防止して、より実用に適したレーザ素子を実現することが可能となる。

【0029】本発明(2)では、サファイア等の基板上に形成される窒化物系半導体レーザにおいて、MQW活性層を挟む導電性の異なるAlGa<sub>N</sub>クラッド層の夫々の外側には発振光に透明なGa<sub>N</sub>層があるため横モードは反導波であるが、AlGa<sub>N</sub>クラッド層の外側への染み出した光を吸収させ、さらに、同様に反導波構造である活性層水平方向においても埋め込み成長によるInGa<sub>N</sub>光吸収層により染み出し光を吸収させる。これにより、高次の横モードは基本モードに比べて損失大又はカ

ットオフになる。特に、活性層の横側に光吸収層を形成することで活性層幅を波長程度まで狭くしないでも、共振器内での波面が共振器方向に垂直になり、FFPは単峰になり且つ広がり角が抑制でき、さらには非点隔差を小さくすることができる。

【0030】光吸収層は $10^4 \text{ cm}^{-1}$ 程度の吸収係数を有する材料であれば、 $0.1 \mu\text{m}$ 程度の厚さであれば十分であり、光閉じ込め係数が5%以下の場合でも単峰性のFFPを得ることができる。しかしながら、光吸収層として作用させるためには、窒化物系半導体の場合の発振波長に相当するエネルギーギャップより小さくするためにInGa<sub>N</sub>活性層よりIn組成を増やす必要があり、In組成増大に伴う結晶歪み効果が無視できなくなる。即ち、InGa<sub>N</sub>光吸収層の平坦性や結晶欠陥により、活性層の結晶性を損なう。そこで、光吸収層は多重量子井戸構造として、歪みを緩和させることが有効である。また、吸収係数を上げるためには $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の不純物を光吸収層にドーピングすることで容易に $10^4 \text{ cm}^{-1}$ 程度を得ることが可能になるばかりか、同時に光吸収層のシート抵抗を低減することが可能になり、光吸収効果と電圧低減に有効である。

【0031】即ち、クラッド層の外側及び活性層の横側に光吸収層を形成することで、横モードは基本モードのみで安定し、且つ基本モードによる低閾電流で動作させることができるので、高密度型光ディスクシステムで要求されるビーム特性が得られる信頼性の高い窒化物系半導体レーザを実現できる。

【0032】本発明(3)によれば、ダブルヘテロ構造を挟んで該構造の両側に、素子の中で膜厚が最も厚い層に対して略格子整合し、かつ活性層から発光される光のエネルギーよりも低いバンドギャップエネルギーを持つ光吸収層を設けることによって、活性層から発せられクラッド層を通過した光を光吸収層により急激に減衰させることができ、レーザ発振時に光を閉じ込めモードが立ち易くなる。これにより、光ディスクやレーザプロジェクトに用いられるFFPが1つのピークを持つレーザを実現することが可能となる。

【0033】本発明(4)によれば、サファイアなどの基板上に構成された窒化物系リッジ型半導体レーザにおいて、活性層のバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有するInを含む光吸収層を、ダブルヘテロ構造よりも基板側に設けることにより、活性層から基板側にしみ出す光を十分に吸収することができる。これにより、垂直横モードは安定し、製造方法も簡単な優れた窒化ガリウム系横モード型半導体レーザを実現することが可能となる。特に、半導体レーザの特性においては、横モード特性及び低しきい値化のみならず、信頼性も向上せしめる大きな効果がある。

【0034】本発明(5)によれば、電極下部にAs、Pを含むInGaAlN等のコンタクト層を形成するこ

とにより、活性層と電極部とに大きなバンドギャップ差を形成することができ、これによりクラッド層から漏れる光をなくすることができる。従って、光の電磁波分布は活性層を中心に閉じ込められ、光閉じ込めは大きく改善され、そのためモードが安定した発振しきい値の低い半導体レーザ装置が実現される。

【0035】本発明(6)によれば、p側ガイド層又はp側クラッド層をn側のそれより薄く形成することにより、キャリアオーバーフローが低減でき、キャリアの注入効率を向上することができる。より具体的には、活性層とp側ガイド層又はp側クラッド層との間に生ずるヘテロ障壁の勾配を大きくし、結果としてキャリアオーバーフローの低減が可能となる。このため、活性層におけるキャリアの注入効率が向上でき、低しきい値化をはかることが可能となる。

【0036】また本発明によれば、p側ガイド層又はp側クラッド層をn側のそれより薄く形成し、かつコンタクト層を $0.05 \mu\text{m}$ 以下に設定することにより、p側ガイド層、p側クラッド層、p側コンタクト層における光閉じ込め係数を低減し、逆にn側の光閉じ込め係数を上げてp側ガイド層、p側クラッド層、p側コンタクト層における吸収損失を低減してしきい値を低減し、FFPの多峰性を改善して単峰化することが可能となる。

【0037】

【発明の実施の形態】以下、本発明の詳細を図示の実施形態によって説明する。

【0038】(第1の実施形態)図1は、本発明の第1の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図である。

【0039】サファイア基板上110に、Ga<sub>N</sub>からなるバッファ層111、Siドーピングのn-Ga<sub>N</sub>からなるn型コンタクト層112、Siドーピングのn-AlGa<sub>N</sub>からなるn型クラッド層115、Siドーピングのn-Ga<sub>N</sub>からなるn型ガイド層116、Siドーピングのn-AlGa<sub>N</sub>からなるn型薄膜障壁層117、それぞれの厚さが10nm以下の2種類のInAlGa<sub>N</sub>層の繰り返しで構成される周期構造からなる多重量子井戸(MQW)構造からなるMQW活性層118、Mgドーピングのp-AlGa<sub>N</sub>からなるp型薄膜障壁層119、Mgドーピングのp-Ga<sub>N</sub>からなるp型ガイド層120、Mgドーピングのp-AlGa<sub>N</sub>からなるp型クラッド層121、MgドーピングのInGa<sub>N</sub>からなるp型光吸収層122、MgドーピングのGa<sub>N</sub>からなるp型コンタクト層123、Mgドーピングのp-InAlGa<sub>N</sub>からなるp型光導波モード制御層124、p型コンタクト層123が成長形成されている。

【0040】そして、p型コンタクト層123からn型コンタクト層112の途中まで部分的にエッチングされ、露出したn型コンタクト層112の表面にはn側電極126が形成されている。また、p型コンタクト層1

23上にはp側電極125が形成されている。

【0041】光吸収層122については、In組成がMQW活性層118の井戸層In組成より高いことが望ましいが、低い場合でも各種金属不純物をドーピングするか、Si、Zn、Mgを高濃度ドーピング( $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上)することによって、フリーキャリアロスを増やして吸収係数を高くするものとする。光吸収層122の厚さについては、 $0.3 \mu\text{m}$ 以下とする。光導波モード制御層124については、光吸収層122と同様に吸収係数が高いものを用いるか、若しくはAlGaInを用いて屈折率をGaInよりも低くしたものを用いることとする。

【0042】図1において、光導波モード制御層124をp型コンタクト層123中に1層設けているが、2層以上設ければより効果が大きくなる。例えば、p型コンタクト層123をAlGaIn及び/又はInGaInとGaInの超格子構造としても良い。p型コンタクト層123を超格子構造とした場合には、層と垂直方向の直列抵抗を低減するために変調ドーピングを行うことが望ましい。また、光吸収層122と光導波モード制御層124のどちらか一方だけを設けることも可能である。例えば光吸収層122が無く、GaInコンタクト123層中に光導波モード制御層124が設けてある場合も含まれる。

【0043】本実施形態におけるように、光吸収層122及び/又は光導波モード制御層124を設けた場合は、AlGaInクラッド層厚が不十分で光がコンタクト層123にしみ出す状況でも、コンタクト層123に光が大きく漏れることを防止し、高次モードによる発振を抑制して遠視野像(FFP)を単峰にし、しきい値を低減することができる。本発明を用いない場合、近視野像(Near Field Pattern: NFP)は、図2のようになる。

【0044】ここで、p型コンタクト層123に光吸収層122及び光導波モード制御層124を設けた場合、NFPは図2の点線で示すようにp型コンタクト層123の光の漏れが減少し、発振しきい値も低下する。発振しきい値は図3に示すように、光吸収層122及び光導波モード制御層124がない従来構造に比較すると、光吸収層122を設けた場合の方がしきい値は低く、さらに光導波モード制御層124の層数が多ければ多いほどしきい値が減少する。

【0045】また、本実施形態のような光吸収層122及び光導波モード制御層124を用いた場合と用いない場合のFFPを比較すると、図4のようになる。この図から、従来多峰性を示すFFPが本実施形態によって単峰となることが分かる。このような多峰性は、p-GaInコンタクト層123、n-GaInコンタクト層112へ光が漏れ出し、高次モードでレーザ発振していることに起因する。しかし、本実施形態によるようにコンタクト層123中に光吸収層122及び光導波モード制御層

124を設けた場合、高次モードの発振が抑制されてFFPは単峰となる。

【0046】さらに光吸収層を設けても、ドーピングが低い又はIn組成が高くないために吸収が不十分である場合には、高次モードで発振する場合がある。この場合は解決策として次の二つの方法が考えられる。一つの方法は、コンタクト層123中にモード制御層124を不等間隔に配置し、高次モードの発生を抑える方法であり、図6において $d1 \neq d2 \neq d3 \neq d4$ とした場合である。各々がある値 $d0$ の整数倍である場合も除かれるものとする。光吸収層122又はモード制御層124が周期的に設けられていない場合は、高次モードによる発振を抑えることができる。もう一つの方法は、コンタクト層123中にモード制御層124を等間隔に配置し、特定の高次モードのみが存在するようにする方法である。例えば図6において、 $d1 = d2 = d3 = d4$ とした場合である。各々がある値 $d0$ の整数である場合も含むものとする。

【0047】後者の方法では高次モードによる発振は避けられないが、高次モードの次数がレーザ発振時に動いてしまうという問題は生じない。従来は高次モードの次数が変化すると発振周波数が変化し、レーザ光の特性も変化してレンズ等によるフォーカスが変化するため、実用の点からは高次モードの次数がレーザ発振時に動くことは好ましくない。コンタクト層123中に光吸収層122又はモード制御層124を等間隔に配置する場合には、導波モードの節と腹を固定することができるので高次モードの次数が固定でき、このような問題は生じない。

【0048】以上のようにして得た本実施形態の半導体レーザは、 $420 \text{ nm}$ 付近の波長で室温連続発振し、そのしきい値は $1 \text{ kA/cm}^2$ 以下であり、またレーザ発振におけるFFPは単峰であった。

【0049】このように本実施形態によれば、p-AlGaInクラッド層121とp側電極125との間のp-GaInコンタクト層123中に、コンタクト層123と組成の異なるp-InGaIn光吸収層122及びp-InAlGaIn光導波モード制御層124を配置することにより、コンタクト層123への光の漏れを減少し、高次モードによる発振を抑制することができ、その結果レーザ発振時のFFPの多峰性が低減できる。また、光導波モード制御層124の配置を周期的にすることによって、モードの次数を固定し、レーザ発振時のモードの揺らぎを抑制することが可能となる。これらの効果によって、光ディスクなどへの実用に供する低しきい値、低電圧で動作し、高い信頼性を有する窒化ガリウム系化合物半導体レーザを実現することが可能になる。

【0050】(第2の実施形態)図7は、本発明の第2の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図である。なお、図1と同一部分には同一符号を付し

10

20

30

40

50

11

て、その詳しい説明は省略する。

【0051】サファイア基板上110に、GaNからなるバッファ層111、Siドーパのn-GaNからなるn型コンタクト層112、Siドーパのn-InAlGaNからなるn型光導波モード制御層113、n型コンタクト層112、Siドーパのn-InGaNからなるn型光吸収層114、層Siドーパのn-AlGaNからなるn型クラッド層115、Siドーパのn-GaNからなるn型ガイド層116、Siドーパのn-AlGaNからなるn型薄膜障壁層117、それぞれの厚さが10nm以下の2種類のInAlGaN層の繰り返しで構成される周期構造からなる多重量子井戸(MQW)構造からなるMQW活性層118、Mgドーパのp-AlGaNからなるp型薄膜障壁層119、Mgドーパのp-GaNからなるp型ガイド層120、Mgドーパのp-AlGaNからなるp型クラッド層121、MgドーパのGaNからなるp型コンタクト層123が成長形成されている。

【0052】そして、p型コンタクト層123からn型コンタクト層112の途中まで部分的にエッチングされ、露出したn型コンタクト層112の表面にはn側電極126が形成され、一方p型コンタクト層123上にはp側電極125が形成されている。

【0053】光吸収層114については、In組成がMQW活性層118の井戸層In組成より高いことが望ましいが、低い場合でも各種金属不純物を高濃度ドーピングすることによりフリーキャリアロスを高くとって吸収係数を高くするものとする。光導波モード制御層113については、光吸収層114と同様に吸収係数が高いものを用いるか、若しくはAlGaNを用いて屈折率をGaNよりも低くしたものを用いることとする。

【0054】図7では、光導波モード制御層113をn型コンタクト層112中に1層設けているが、2層以上設けても構わない。さらに、n型コンタクト層112をAlGaN及び/又はInGaNとGaNの超格子構造とした場合も効果は同様である。コンタクト層112を超格子構造とした場合には、層と垂直方向の直列抵抗を低減するために変調ドーピングを行うことも可能である。また、光吸収層114と光導波モード制御層113のどちらか一方だけを設けることも可能である。例えば光吸収層114が無く、GaNコンタクト層112中に光導波モード制御層113が設けてある場合も含まれる。

【0055】本実施形態におけるように、光吸収層114及び/又は光導波モード制御層113を設けた場合は、AlGaNクラッド層厚が不十分で光がコンタクト層112にしみ出す状況でも、コンタクト層112に光が大きく漏れることを防止し、高次モードによる発振を抑制してFFPを単峰にし、しきい値を低減することができる。本実施形態を用いない場合、NFPを見るとn型コンタクト層112に光が大きく漏れるが、n型コン

12

タクト層112に光吸収層114及び光導波モード制御層113を設けた場合、n型コンタクト層112への光の漏れは減少し、発振しきい値も低下する。

【0056】また、従来構造ではFFPは多峰性を示すが、このような多峰性はp-GaNコンタクト層123、n-GaNコンタクト層112へ光が漏れ出し、高次モードでレーザ発振していることに起因する。しかし、本実施形態によるようにn型コンタクト層112中に光吸収層114及び光導波モード制御層113を設けた場合、FFPは単峰となる。

【0057】さらに、光吸収層114を設けても、ドーピングが低いか又はIn組成が高くないために吸収が不十分である場合には、高次モードで発振する場合がある。この場合は、解決策として次の二つの方法が考えられる。一つは、コンタクト層112中にモード制御層113を不等間隔に配置し、高次モードの発生を抑える方法である。光吸収層114又はモード制御層113が周期的に設けられていない場合は、高次モードによる発振を抑えることができる。もう一つの方法は、コンタクト層112中にモード制御層113を等間隔に配置し、特定の高次モードのみが存在するようにする方法である。

【0058】後者の方法では、高次モードによる発振は避けられないが、高次モードの次数がレーザ発振時に動いてしまうという問題は生じない。従来は高次モードの次数が変化すると発振周波数が変化し、レーザ光の特性も変化してレンズ等によるフォーカスに変化するため、実用の点からは高次モードの次数がレーザ発振時に動くことは好ましくない。コンタクト層112中に光吸収層114又は低屈折率層からなるモード制御層113を等間隔に配置する場合には、導波モードの節と腹を固定することができるので、高次モードの次数が固定でき、このような問題は生じない。

【0059】以上のようにして得た本実施形態の半導体レーザは、420nm付近の波長で室温連続発振し、そのしきい値は1kA/cm<sup>2</sup>以下であり、またレーザ発振におけるFFPは単峰であった。

【0060】(第3の実施形態)図8は、本発明の第3の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図である。なお、図1と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。

【0061】サファイア基板上110に、GaNからなるバッファ層111、Siドーパのn-GaNからなるn型コンタクト層112、Siドーパのn-InAlGaNからなるn型光導波モード制御層113、n型コンタクト層112、Siドーパのn-InGaNからなるn型光吸収層114、Siドーパのn-AlGaNからなるn型クラッド層115、Siドーパのn-GaNからなるn型ガイド層116、Siドーパのn-AlGaNからなるn型薄膜障壁層117、それぞれの厚さが10nm以下の2種類のInAlGaN層の繰り返しで構

10

20

30

40

50

13

成される周期構造からなる多重量子井戸(MQW)構造からなるMQW活性層118、Mgドーパのp-AlGaInからなるp型薄膜障壁層119、Mgドーパのp-GaNからなるp型ガイド層120、Mgドーパのp-AlGaInからなるp型クラッド層121、MgドーパのInGaInからなるp型光吸収層122、MgドーパのGaNからなるp型コンタクト層123、Mgドーパのp-InAlGaInからなるp型光導波モード制御層124、p型コンタクト層123が成長形成されている。

【0062】そして、p型コンタクト層123からn型コンタクト層112の途中まで部分的にエッチングされ、露出したn型コンタクト層112の表面にはn側電極126が形成され、一方p型コンタクト層123上にはp側電極125が形成されている。

【0063】光吸収層122及び114については、In組成が活性層井戸層In組成より高いことが望ましいが、低い場合でも各種金属不純物を高濃度ドーピングすることによりフリーキャリアスを高くして吸収係数を高くするものとする。光導波モード制御層113又は124については、光吸収層114及び122と同様に吸収係数が高いものを用いるか、若しくはAlGaInを用いて屈折率をGaNよりも低くしたものを用いることとする。

【0064】図8では、光導波モード制御層113、124をn型コンタクト層112とp型コンタクト層123中に各1層設けているが、どちらか一方でも構わないし、光導波モード制御層114、122を2層以上設け、例えばコンタクト層をAlGaIn及び/又はInGaInとGaNの超格子構造とした場合も効果は同様である。コンタクト層112、123を超格子構造とした場合には、層と垂直方向の直列抵抗を低減するために変調ドーパを行うことも可能である。また、光吸収層114、122と光導波モード制御層113、124のどちらか一方だけを設けることも可能である。例えば光吸収層114及び/又は122が無く、GaNコンタクト層112中に光導波モード制御層113が設けてある場合も含まれる。

【0065】本実施形態におけるように、光吸収層114、122及び/又は光導波モード制御層113、124を設けた場合は、AlGaInクラッド層厚が不十分で光がコンタクト層112、123にしみ出す状況でも、コンタクト層112、123に光が大きく漏れることを防止し、高次モードによる発振を抑制してFFPを単峰にし、しきい値を低減することかできる。本実施形態を用いない場合、NFPを見るとp型コンタクト層123、n型コンタクト層112にしみ出していることが分かる。ここで、コンタクト層112、123に光吸収層114、122及び光導波モード制御層114、124を設けた場合、NFPを見るとコンタクト層112、1

14

23への光の漏れは小さくなり、発振しきい値も低下する。

【0066】また、従来構造ではFFPは多峰性を示すが、このような多峰性はp-GaNコンタクト層123、n-GaNコンタクト層112へ光が漏れ出し、高次モードでレーザ発振していることに起因する。しかし、本実施形態によるようにコンタクト層112、123中に光吸収層114、122及び光導波モード制御層113、124を設けた場合、FFPは単峰となる。

10 【0067】本実施形態のようにp型コンタクト層123、n型コンタクト層112の両方に光の漏れを低減する措置を行う必要があるのは、例えば電流狭窄構造やBH構造、SBR構造のようにp側で電流の流れが絞込まれている場合についてであり、pコンタクト層が厚い場合に特に有効である。

【0068】以上のようにして得た本実施形態の半導体レーザは、420nm付近の波長で室温連続発振し、そのしきい値は1kA/cm<sup>2</sup>以下であり、またレーザ発振におけるFFPは単峰であった。

20 【0069】(第4の実施形態)図9は、本発明の第4の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図である。なお、図1と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。

【0070】サファイア基板上110に、GaNからなるバッファ層111、Siドーパのn-GaNからなるn型コンタクト層112、Siドーパのn-InAlGaInからなるn型光導波モード制御層113、n型コンタクト層112、Siドーパのn-InGaInからなるn型光吸収層114、Siドーパのn-AlGaInからなるn型クラッド層115、Siドーパのn-GaNからなるn型ガイド層116、Siドーパのn-AlGaInからなるn型薄膜障壁層117、それぞれの厚さが10nm以下の2種類のInAlGaIn層の繰返しで構成される周期構造からなる多重量子井戸(MQW)構造からなるMQW活性層118、Mgドーパのp-AlGaInからなるp型薄膜障壁119、Mgドーパのp-GaNからなるp型ガイド層120、Mgドーパのp-AlGaInからなるp型クラッド層121、MgドーパのInGaInからなるp型光吸収層122、ノンドープ又はSiドーパのn-InAlGaInからなる電流ブロック層127、ノンドープ又はMgドーパのp-InAlGaInからなる光導波モード制御層124、電流ブロック層127が成長形成されている。

【0071】内部に光導波モード制御層124を含む電流ブロック層127はストライプ状に開口され、この開口部及び電流ブロック層127上には、MgドーパのGaNからなるp型コンタクト層123、p型光導波モード制御層124、p型コンタクト層123が成長形成されている。そして、そして、p型コンタクト層123からn型コンタクト層112の途中まで部分的にエッチン

50

グされ、露出したn型コンタクト層112の表面にはn側電極126が形成され、p型コンタクト層123上にはp側電極125が形成されている。

【0072】光吸収層122及び114については、In組成がMQW活性層118の井戸層In組成より高いことが望ましいが、低い場合でも各種金属不純物を高濃度ドーピングすることによりフリーキャリアロスを高くして吸収係数を高くするものとする。光導波モード制御層113又は124については、光吸収層114及び122と同様に吸収係数が高いものを用いるか、若しくはAlGaInを用いて屈折率をGaInよりも低くしたものを

用いることとする。

【0073】図9では、光導波モード制御層をp型コンタクト層123、n型コンタクト層112中に各1層設けているが、どちらか一方でも構わないし、光導波モード制御層を2層以上設け、例えばコンタクト層及び/又は電流ブロック層をAlGaIn及び/又はInGaInとGaInの超格子構造とした場合も効果は同様である。コンタクト層を超格子構造とした場合には、層と垂直方向の直列抵抗を低減するために変調ドーピングを行うことも可能である。また、光吸収層114、122と光導波モード制御層113、124のどちらか一方だけを設けることも可能である。例えば光吸収層114及び/又は122が無く、GaInコンタクト層112、123中に光導波モード制御層113、124が設けてある場合も含まれる。

【0074】本実施形態におけるようにブロック層127及び/又はコンタクト層112、123中に光吸収層114、122及び/又は光導波モード制御層113、124を設けた場合は、AlGaInクラッド層厚が不十分で光がコンタクト層112、123にしみ出す状況でも、コンタクト層112、123に光が大きく漏れることを防止し、高次モードによる発振を抑制してFFPを単峰にし、しきい値を低減する。また、コンタクト層112、123中に光吸収層114、122及び光導波モード制御層113、124を設けた場合、FFPは単峰となる。

【0075】以上のようにして得た本実施形態の半導体レーザは、420nm付近の波長で室温連続発振し、そのしきい値は1kA/cm<sup>2</sup>以下であり、またレーザ発振におけるFFPは単峰であった。

【0076】(第5の実施形態)図10は、本発明の第5の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図である。なお、図1と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。

【0077】先に説明した第4の実施形態との違いは、電流狭帯がp-AlGaInクラッド層121でなされていることである。ブロック層127はSiドープのGaIn又は望ましくはSiドープのAlGaIn又はInGaInであり、クラッド層121中に光吸収層122が設け

られている。また、コンタクト層123中にInGaIn又はAlGaInからなる導波モード制御層124が設けられている。

【0078】p側において、光吸収層122及び光導波モード制御層124をブロック層127及びコンタクト層123層中に設けることにより、FFPの単峰化を達成することができ、ブロック層127、コンタクト層123への光のしみ出しを低減して、しきい値を下げるができる。

【0079】本実施形態におけるように、光吸収層114、122及び/又は光導波モード制御層113、124を設けた場合は、光がコンタクト層112、123又は電流ブロック層127にしみ出す状況でも、これらの層に光が大きく漏れることを防止し、高次モードによる発振を抑制して遠視野像FFPを単峰にし、しきい値を低減することができる。また、従来構造ではFFPは多峰性を示すが、このような多峰性はp-GaInコンタクト層123、n-GaInコンタクト層112へ光が漏れ出し、高次モードでレーザ発振していることに起因する。しかし、本実施形態によるようにコンタクト層112、123中に光吸収層114、122及び光導波モード制御層113、124を設けた場合、FFPは単峰となる。

【0080】以上のようにして得た本実施形態の半導体レーザは、420nm付近の波長で室温連続発振し、そのしきい値は1kA/cm<sup>2</sup>以下であり、またレーザ発振におけるFFPは単峰であった。

【0081】なお、本発明は上述した第1～第6の実施形態に限られるものではない。基板はサファイアに限るものではなく、Si、SiC、MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、GaInなども適用可能である。また、光吸収層は発振光に対してエネルギーギャップが小さければGaInAlBNの任意組成で良い。また、光吸収層へのドーピングはMg、Siに限られるものではなく、活性層からの光に対して十分大きな吸収係数が得られるものであればよい。また、活性層はi型、n型、p型のいずれでもよい。さらに、構造や膜厚、組成などにおいては、本発明の趣旨に逸脱しない限り種々の適用が可能である。

【0082】(第6の実施形態)図11は、本発明の第6の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図である。

【0083】図中201はサファイア基板であり、この基板201上には、n-GaInコンタクト層202(Siドープ、5×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>、3μm)、n-In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N光吸収層203(Siドープ、5×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>、0.1μm)、n-Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>Nクラッド層204(Siドープ、1×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>、0.8μm)、n-GaIn光導波層205(Siドープ、1×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>、0.1μm)、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N井戸層(3nm、5層)とIn<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N障壁層(6nm

17

m)からなる多重量子井戸(MQW)活性層206、p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nキャリアオーバーフロー防止層207(20nm)、p-GaN光導波層208(Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、0.1 $\mu\text{m}$ )、p-Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>Nクラッド層209(Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、0.8 $\mu\text{m}$ )、p-In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N光吸収層210(Mgドープ、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、0.1 $\mu\text{m}$ )、p-GaNコンタクト層211(Mgドープ、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、0.1 $\mu\text{m}$ )が成長形成されている。

【0084】p型コンタクト層211の表面からn型コンタクト層202の途中までストライプ状のメサを残して除去され、残ったメサの側部には、p-Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N電流ブロック層212(Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、0.1 $\mu\text{m}$ )、n-In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N光吸収層213(Siドープ、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、0.3 $\mu\text{m}$ )、n-GaN電流ブロック層(Siドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、2 $\mu\text{m}$ )214が成長形成されている。そして、メサ上部及びn型電流ブロック層214上には、p-GaNコンタクト層215(Mgドープ、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、0.2 $\mu\text{m}$ )が成長形成されている。

【0085】また、p型コンタクト層215の表面からp型電流ブロック層212までが一部除去され、露出したn型コンタクト層202上にAl/Ti/Auからなるn側電極217が形成され、一方p型コンタクト層215上にはPt/Ti/Pt/Auからなるp側電極216が形成されている。そして、電極216、217が形成されずに露出する部分には、該部分を被覆するようにSiO<sub>2</sub>絶縁膜218が形成されている。なお、MQW活性層206の幅は4 $\mu\text{m}$ としている。また、特に図示していないが、レーザ光射出端面にはTiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>を多層に積層した高反射コートを実施している。

【0086】本実施形態では、共振器長0.5mmの場合、しきい値電流70mA、発振波長420nm、動作電圧5.2Vで室温連続発振した。さらに50℃、5mW駆動における素子寿命は5000時間以上であった。また、FFPは水平角7°、垂直角22°で単峰のピークであり、さらに非点隔差は5 $\mu\text{m}$ と小さく、光ディスク応用に適したビーム特性が得られた。

【0087】本実施形態レーザの場合、MQW活性層206を挟むAlGaInクラッド層204及び209の外側には発振光に透明なGaN層があるため横モードは反導波であるが、AlGaInクラッド層204及び209の外側への染み出した光に対してInGaIn光吸収層203及び210により高次の垂直横モードは減衰が大きくなる。また、活性層水平方向においても反導波構造になるが、n-In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N光吸収層213が高次の水平横モードは基本モードに比べて損失大又はカットオフになるので、活性層幅を波長程度まで狭くしないでも、共振器内での波面が共振器方向に垂直になり、FFPの拡がり角を抑制し、かつ非点隔差を小さくすること

18

ができた。従って、製造工程においては、発振波長の0.4 $\mu\text{m}$ 程度の狭い活性層幅の制御が不要であるので、高密度光ディスクシステムに適用可能な半導体レーザが容易に歩留まり良く得られた。

【0088】さらに、n-In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N光吸収層203、p-In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N光吸収層210を夫々、n-In<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N(Siドープ、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、3nm、10層)井戸層とn-In<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N(Siドープ、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、6nm)障壁層からなる量子井戸構造光吸収層、p-In<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N(Mgドープ、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、3nm、10層)井戸層とp-In<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N(Mgドープ、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、6nm)障壁層からなる量子井戸構造光吸収層に代えることで、FFPは水平角7°、垂直角20°で単峰ピークに、非点隔差は3 $\mu\text{m}$ に夫々改善できた。これは、光吸収層での垂直横モードの抑制が単層に比べて改善されたためである。また、ウェハ面内での素子ばらつきが小さくなり、歩留まりが向上した。これは、In組成の大きい光吸収層を単層で厚くすると内部歪みが高いのに対し、量子井戸構造とすることで平坦性及び歪みの抑制が可能になったためである。

【0089】(第7の実施形態)図12は、本発明の第7の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図である。なお、図11と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。

【0090】本実施形態が図11で示される第6の実施形態に対して異なる点は、n-GaNコンタクト層202がn-In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N光吸収層203に、p-GaNコンタクト層211及び215がp-In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N光吸収層210に置き換えてあることである。従って、n-In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N光吸収層203及びp-In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N光吸収層210は光吸収層と電極コンタクト層を兼ねている。

【0091】本実施形態では、共振器長0.5mmの場合、しきい値電流75mA、発振波長420nm、動作電圧4.8Vで室温連続発振した。さらに、50℃、5mW駆動における素子寿命は5000時間以上であった。また、FFPは水平角5°、垂直角20°で単峰のピークであり、さらに非点隔差は4 $\mu\text{m}$ と小さく、光ディスク応用に適したビーム特性が得られた。

【0092】本実施形態レーザの場合、MQW活性層206を挟むAlGaInクラッド層204及び209の外側には発振光に対して透明なGaN層はn-GaN電流ブロック層214のみがあるため、横モードは第6の実施形態と同様に反導波であるが、InGaIn光吸収層により高次の横モードは完全に減衰させることができるので、第6の実施形態に比べても、FFPの拡がり角の抑制効果、かつ非点隔差を小さく効果が大きい。さらに、InGaIn光吸収層203及び210が電極コンタクト層を兼ねるので、接触抵抗がp側、n側共に下がり動作

電圧を低減できた。

【0093】なお、本発明は上述した第6～第7の実施形態に限られるものではなく、基板として、Si、SiC、 $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ 、GaNなども適用可能である。また、光吸収層は発振光に対してエネルギーギャップが小さければGaInAlBNの任意組成で良い。また、光吸収層へのドーピングはMg、Siに限られるものではなく、 $10^{15}\text{ cm}^{-3}$ 程度の吸収係数が得られれば、導電性に拘らない不純物であっても良い。さらに、構造や膜厚、組成などにおいては、本発明の趣旨に逸脱しない限り種々の適用が可能である。

【0094】(第8の実施形態)図13は、本発明の第8の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図である。

【0095】図中の300はサファイア基板であり、この基板300上には、AlN/InN超格子バッファ層301(アンドープ、 $4\mu\text{m}$ 、厚さの比AlN:InN=8:2)、 $\text{n-In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ コンタクト層302(Siドーパ、 $3\sim 5\times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 、 $4\mu\text{m}$ )、 $\text{n-GaN/Ga}_{0.85}\text{As}_{0.15}\text{N}$ 超格子光吸収層303(Siドーパ、 $3\sim 5\times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ 、厚さの比GaN:GaAsN=8:2)、 $\text{n-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ クラッド層304(Siドーパ、 $5\times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ 、 $0.3\mu\text{m}$ )、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 活性層305(アンドープ、 $0.1\mu\text{m}$ )、 $\text{p-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ クラッド層306(Mgドーパ、 $5\times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ 、 $0.3\mu\text{m}$ )、 $\text{p-GaN/Ga}_{0.85}\text{As}_{0.15}\text{N}$ 超格子光吸収層307(Mgドーパ、 $1\sim 3\times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ 、厚さの比GaN:GaAsN=8:2)、 $\text{p-In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ コンタクト層308(Mgドーパ、 $1\sim 3\times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ )が成長形成されている。各層302～308の結晶成長は、MOCVD法(有機金属気相成長法)によって行っている。

【0096】上記各層302～308の成長後、p型電極となる部分にマスクを形成し、それ以外の部分をn型コンタクト層302に達するまでエッチングを行い、続いて全面にリーク電流を防ぐための $\text{SiO}_2$ を付けた。そして、p型、n型共に電極を形成する部分の $\text{SiO}_2$ を除去し、p型、n型の電極金属311、312を蒸着した。

【0097】p型、n型共にGaN/ $\text{Ga}_{0.85}\text{As}_{0.15}\text{N}$ 超格子光吸収層303、307は、AlN/InN超格子バッファ層301に格子整合しており、活性層305から発せられる光のエネルギーよりも小さなバンドギャップを有するInNを含んでおりこの層において急激に光は減衰しレーザ発振時に光を閉じ込めモードが立ち易くなる。

【0098】本実施形態のレーザでは、しきい値80mAで室温連続発振した。発振波長は420nm、動作電圧は4Vであった。発振しきい値は電流狭窄構造を用い

ない従来の素子の100mAに比べ80mAと低くなった。さらに、発振時の遠視野像は図16に示すように、従来例では2つのピークがあったものが、本実施形態では1つのピークになり、垂直方向の半値幅も $14^\circ$ と光ディスク用ピックアップとして十分実用になるレベルとなった。

【0099】また、今回は結晶成長方法としてMOCVD法を用いたがMBE法でも良い。

【0100】(第9の実施形態)図14は、本発明の第9の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図である。

【0101】サファイア基板320の上に、AlNバッファ層321(アンドープ、10nm)、 $\text{n-In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ コンタクト層322(Siドーパ、 $1\times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ 、 $3\mu\text{m}$ )、 $\text{n-Ga}_{0.97}\text{As}_{0.03}\text{N}$ 光吸収層323(Siドーパ、 $3\sim 5\times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ )、 $\text{n-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層324(Siドーパ、 $5\times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ 、 $0.8\mu\text{m}$ )、GaN光閉じ込め層325(Siドーパ、 $0.1\mu\text{m}$ )、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 活性層326(Siドーパ、10nm)、GaN光閉じ込め層327(アンドープ、 $0.1\mu\text{m}$ )、 $\text{p-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層328(Mgドーパ、 $5\times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ 、 $0.8\mu\text{m}$ )、 $\text{p-Ga}_{0.97}\text{As}_{0.03}\text{N}$ 光吸収層329(Mgドーパ、 $1\sim 3\times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ )、 $\text{p-In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ コンタクト層330(Mgドーパ、 $1\sim 3\times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 、 $0.3\mu\text{m}$ )が成長形成されている。なお、これらの層の結晶成長はMBE法によって行っている。

【0102】そして、p型コンタクト層330の表面からn型コンタクト層322に達するまで一部がエッチングによって除去され、除去されたn型コンタクト層322上にはn側電極332が形成され、p側電極330上にはp側電極331が形成される。また、電極形成部を除く表面には、リーク電流を防ぐための $\text{SiO}_2$ 絶縁膜333が形成されている。

【0103】p型、n型共に、 $\text{Ga}_{0.97}\text{As}_{0.03}\text{N}$ 光吸収層323、329の格子定数は $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ に格子整合しており、活性層326から発せられる光のエネルギーよりも小さなバンドギャップを有する。

【0104】本構造の素子ではしきい値80mAで80℃まで連続発振した。発振波長は375nm、動作電圧は4Vであった。この素子においても超格子光吸収層によって光のめれが低減され発光層での光密度が高くなるのでしきい値は低く、遠視野像は単峰であり光の位相のずれがなく、光記録ディスクの読み取り用、書き込み用どちらの用途でも最適な発光が得られた。また、超格子を用いていることにより、成長中及び成長後に生じる転位を低減できた。

【0105】(第10の実施形態)図15は、本発明の第10の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成

を示す断面図である。

【0106】図中の340はサファイア基板、341はn-GaNバッファ層(アンドープ、0.1 $\mu$ m)、342はn-Ga<sub>0.9</sub>Al<sub>0.1</sub>Sb<sub>0.1</sub>N<sub>0.9</sub>コンタクト光吸収層(Siドープ、3 $\sim$ 5 $\times 10^{18}$ cm<sup>-3</sup>、4 $\mu$ m)、343はn-AlGa<sub>0.3</sub>Nクラッド層(Siドープ、5 $\times 10^{17}$ cm<sup>-3</sup>、0.3 $\mu$ m)、344はn-GaN光ガイド層(Siドープ、5 $\times 10^{17}$ cm<sup>-3</sup>、0.1 $\mu$ m)、345はIn<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N/GaN多重量子井戸活性層(アンドープ、井戸幅2nm、障壁幅4nm、ベア数3)、346はp-GaN光ガイド層(Mgドープ、5 $\times 10^{17}$ cm<sup>-3</sup>、0.1 $\mu$ m)、347はp-AlGa<sub>0.3</sub>Nクラッド層(Mgドープ、5 $\times 10^{17}$ cm<sup>-3</sup>、0.3 $\mu$ m)、348はp-Ga<sub>0.9</sub>Al<sub>0.1</sub>Sb<sub>0.1</sub>N<sub>0.9</sub>コンタクト光吸収層(Mgドープ、1 $\sim$ 3 $\times 10^{18}$ cm<sup>-3</sup>、0.5 $\mu$ m)、349はn-GaN通電障壁層(Siドープ、1 $\times 10^{18}$ cm<sup>-3</sup>、0.3 $\mu$ m)、350はp-GaNコンタクト層、351はp側電極、352はn側電極である。

【0107】作製方法は、次のようになっている。始めにMOCVD法によりn-GaN通電障壁層349まで成長しその後、通電障壁層349の上に一部フォトリソグラフィによりストライプ状のマスクを形成し、p-GaAlSbN光吸収層348が露出するまでエッチングを行う。次いで、p-GaNコンタクト層350を成長する。また、先の実施形態と同様に、n型コンタクト層342に達するまで一部を除去し、露出したn型コンタクト層342上にn側電極352をけいせいし、さらにp型コンタクト層350上にp側電極351を形成することにより、図15の構造が得られる。

【0108】本実施形態のレーザは、しきい値20mAで室温連続発振した。発振波長は420nm、動作電圧は3.8Vであった。

【0109】(第11の実施形態)図17は、本発明の第11の実施形態に係わる青色半導体レーザ装置の概略構成を示す断面図である。

【0110】図中の360はp-SiC基板、361はp-AlN/InNバッファ層(Mgドープ3 $\sim$ 5 $\times 10^{20}$ cm<sup>-3</sup>、1 $\mu$ m、厚さの比AlN:InN=0.7:0.3)、362はp-GaN/Ga<sub>0.9</sub>Po<sub>0.1</sub>N超格子光吸収層(Mgドープ、1 $\times 10^{19}$ cm<sup>-3</sup>、0.4 $\mu$ m、厚さの比GaN:GaPN=0.7:0.3)、363はp-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nクラッド層(Mgドープ、5 $\times 10^{17}$ cm<sup>-3</sup>、0.3 $\mu$ m)、364はAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N光ガイド層(アンドープ、0.01 $\mu$ m)、365は多重量子井戸活性層In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N/Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N(アンドープ、井戸厚2nm、障壁厚4nm、3ベア)、366はAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N光ガイド層(アンドープ、0.01 $\mu$ m)、367はn-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nクラッド層(Siドープ、5 $\times 1$

0<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>、0.3 $\mu$ m)、368はn-GaN/Ga<sub>0.9</sub>Po<sub>0.1</sub>N超格子光吸収層(Siドープ、1 $\times 10^{19}$ cm<sup>-3</sup>、0.4 $\mu$ m、厚さの比GaN:GaPN=0.7:0.3)、369はp-GaN電流狭窄層(Mgドープ、5 $\times 10^{17}$ cm<sup>-3</sup>、0.1 $\mu$ m)、370はn-GaNコンタクト層(Siドープ、1 $\sim$ 3 $\times 10^{19}$ cm<sup>-3</sup>、0.1 $\mu$ m)、371はn側電極、372はp側電極である。

【0111】作製方法は、次のようになっている。始めにMOCVD法によりp-GaN電流狭窄層369まで成長し、その後で電流狭窄層369の上に一部フォトリソグラフィによりマスクを形成し、n-GaN/GaPN超格子光吸収層368が露出するまでエッチングを行う。次いで、p-GaNコンタクト層370を成長する。さらに、両面に電極371、372を形成し、その後劈開により共振器の端面を形成する。

【0112】本実施形態構造の素子では、しきい値70mAで発振波長は375nm、基本横モード発振し、5000時間までの安定動作も確認した。

【0113】なお、電流狭窄層を活性層に対して基板と反対側に設けているが、電流狭窄層は基板側でもよいし、両方にあってもよい。また、電流狭窄層にコンタクト層に比べ屈折率の低い材料を用いているが、逆に屈折率の高い材料でもよい。

【0114】(第12の実施形態)図18は、本発明の第12の実施形態に係わる青色半導体レーザ装置の概略構成を示す断面図である。

【0115】図中の380はp-SiC基板、381はp-GaNバッファ層(Mgドープ、3 $\sim$ 5 $\times 10^{20}$ cm<sup>-3</sup>、3 $\mu$ m)、382はp-GaN光吸収層(Mgドープ、1 $\times 10^{19}$ cm<sup>-3</sup>、0.1 $\mu$ m)、383はp-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Nクラッド層(Mgドープ、5 $\times 10^{17}$ cm<sup>-3</sup>、0.3 $\mu$ m)、384はAl<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N光ガイド層(アンドープ、0.1 $\mu$ m)、385は多重量子井戸活性層Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N/Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N(アンドープ、井戸厚2nm、障壁厚4nm、3ベア)、386はAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N光ガイド層(アンドープ、0.1 $\mu$ m)、387はn-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Nクラッド層(Siドープ、5 $\times 10^{17}$ cm<sup>-3</sup>、0.3 $\mu$ m)、388はn-GaN光吸収層(Siドープ、1 $\sim$ 3 $\times 10^{19}$ cm<sup>-3</sup>、0.1 $\mu$ m)、389はp-GaN電流狭窄層(Mgドープ、5 $\times 10^{17}$ cm<sup>-3</sup>、0.1 $\mu$ m)、390はn-GaNコンタクト層(Siドープ、1 $\sim$ 3 $\times 10^{19}$ cm<sup>-3</sup>、0.1 $\mu$ m)、391はn側電極、392はp側電極である。

【0116】作製方法は、次のようになっている。始めにMOCVD法によりp-GaN電流狭窄層389まで成長し、その後で電流狭窄層389の上に一部フォトリソグラフィによりマスクを形成し、n-GaN光吸収層388が露出するまでエッチングを行う。次いで、p

23

—GaNコンタクト層390を成長する。さらに、両面に電極391、392を形成し、その後劈開により共振器の端面を形成する。

【0117】本実施形態構造の素子では、しきい値70mAで発振波長は375nm、基本横モード発振し、5000時間までの安定動作も確認した。

【0118】なお、第8～第12の実施形態において、下地基板としてサファイア基板やSiC基板を用いたが、ZnO基板やスピネル基板でもよい。また、素子の基板以外部分を格子整合させて作るので、基板以外で素子中で一番厚さが厚い部分の結晶格子の格子定数を合わせて素子の各層の組成を決めることにより、実施形態に上げた組み合わせ以外でも素子を作ることが可能である。図19に示すように、横軸の格子定数が等しい点から図面上の方に向かいそれぞれ吸収層発光層クラッド層の順番で格子定数が等しい値で作ればよい。この際、発光層が薄い場合には格子整合している必要がなく、むしろ歪みが緩和しない程度に格子整合していない方がしきい値の面では良好な素子が作成可能である。また、いずれの実施形態においても、格子定数の違いは0.2%以内であれば図20のように信頼性が飛躍的に向上した。また、超格子を用いた場合には更に転位の減少により信頼性が向上した。

【0119】(第13の実施形態)図21は、本発明の第13の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図である。

【0120】各窒化物層は全てMOCVD法により成長を行った。成長条件に関して、圧力は常圧、バッファ層以外のGaN、AlGaN層は基本的には窒素、水素、アンモニアを混合した雰囲気中で1000℃から1100℃の範囲、活性層を含む成長は窒素をアンモニア雰囲気中で700℃から850℃の範囲とした。

【0121】図中の420はサファイア基板で、(0001)c面を用いており、レーザミラーはへき開により形成されている。410はn-GaNコンタクト層(Siドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )、411はn-Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>Nクラッド層(Siドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、0.6μm)である。412は多重量子井戸構造(MQW)、Alキャップ層、光ガイド層を含む活性層部であり、厚さ0.1μmのGaNからなる光ガイド層を両側に有し、井戸層は3nm厚のIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N層からなり、バリア層は厚さ6nmのIn<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>Nから構成される。井戸層は5層である。p側のガイド層とMQW層との間には、厚さ2nmのp-Al<sub>0.20</sub>Ga<sub>0.80</sub>N薄膜障壁層が挿入されている。

【0122】また、413はp-Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>Nクラッド層(Mgドープ、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、0.6μm)、414はp-GaNコンタクト層(Mgドープ、 $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、0.2μm)であり、最上部はMgを $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ に高濃度化されている。415はP

24

t/Ti/Pt/Auからなるp側電極、416はSiO<sub>2</sub>誘電体膜、417はCr/Auからなるパッド用電極、418はn側電極である。

【0123】419は本実施形態に係わる光吸収層で、コンタクト層410内に配置されており、多重量子井戸(MQW)構造を採用している。井戸層は3nm厚のIn<sub>0.20</sub>Ga<sub>0.80</sub>N層からなり、バリア層は厚さ6nmのGaNから構成される。井戸層は10層である。このMQW構造部の井戸層の組成は発振光波長に対して損失を有するよう、活性層の井戸層組成に対して5%程度多くなるよう設定した。また、MQWではなく単層でInGaN層として成長した場合、ウエハ全面で黒化したが、GaNをバリア層としてMQWの平均In組成を8%以下になるよう調整したところ、黒化は無く良いモフォロジーが得られた。MQWの挿入位置は、活性層からp電極までの距離にほぼ等しい0.9μmとした。

【0124】本実施形態の構造は、次のようにして作成される。まず、p型コンタクト層414までの結晶成長後、感光レジストを用いた光リソグラフィ技術と反応性塩素系イオンによるドライエッチング技術を用いて、図21に示すようなリッジ構造を形成する。次いで、誘電体(SiO<sub>2</sub>)膜を全面に形成した後、光リソグラフィ技術と化学エッチング技術を繰り返し用いてリッジ付近に開口部を設け、p型電極を形成することによって得られる。リッジの幅は底面で4μm、SiO<sub>2</sub>の開口幅は3μmとした。リッジ脇に存在する金属膜は接合平面に平行方向に実効屈折率差を作りつけ、水平横モードを安定化させている。

【0125】本実施形態では、しきい値65mAで室温連続発振した。発振波長は405nm、動作電圧は5.5Vであった。ビーム特性は単峰であり、非点隔差は10μmと十分小さな値が得られた。最高光出力は連続発振で10mWまで得られ、最高連続発振温度は60℃、信頼性に関しても室温で1000時間以上安定に動作した。これらの特性は基板側をヒートシンクにボンディングした構造で得られた。基板は研磨により50μmまで薄膜化している。従来型のリッジ構造では、しきい電流値は100mAと高く、最高連続発振温度も30℃と低く、全て双峰のビームであった。

【0126】図22は本実施形態に関する原理を説明するための図である。横軸に出射部からの立体角、縦軸には相対光強度を取っており、いわゆるファーフールド・パターン(FFP)と呼ばれるビーム特性を示している。この結果は計算により求めた。光吸収層を設けない従来構造では、激しい双峰性のピークが発生する。これは、活性層からしみ出した光が外側のコンタクト層などに導波される、いわゆる反導波現象が発生するためである。これに対し、p側電極を活性層に比較的近い位置(図21の実施形態のように0.9μm程度)することにより、電極側はコンタクト層への導波しみ出しが抑制

25

され、さらにn側に吸収係数 $10^5 \text{ cm}^{-1}$ 程度の光吸収層を10nm以上の厚さ挿入することで、図に示すように単峰のピークを得ることができる。

【0127】光吸収層の位置は、ビーム特性の対称性、基本モードの収束解の許容度からして、光吸収層と活性層との間隔が、金属電極と活性層との間隔に発振光に対する屈折率を考慮した距離として概略等しいことが望ましい。MQWのパラメータとしても種々考えられるが、本実施形態で示したように光吸収を十分かせぎ、かつ全ての層構造の成長温度を考慮すると、なるべく井戸層はIn組成を多くして、障壁層のIn組成を減らす設計が望ましい。例えば、井戸層、障壁層共にIn組成は活性層のMQW部のそれと同じにして、厚さを調整して上記の条件を満たすようにもできる。

【0128】(第14の実施形態)図23は本発明の第14の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図である。なお、図21と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。

【0129】基本的な構成は先の第13の実施形態と同様であり、本実施形態がこれと異なる点は、光吸収層439の構造及び配置位置にある。即ち、光吸収層439はMQW構造を採用し、井戸層は3nm厚の $\text{In}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$ 層からなり、バリア層は厚さ6nmのGa<sub>2</sub>Nから構成される。井戸層は20層である。本実施形態では、n側電極のコンタクト部に光吸収層439が露出しており、光吸収層439に電極コンタクトを取ることが可能となっている。従って、バンドギャップがより小さい層でコンタクトが取れるため、動作電圧の低減が可能である。

【0130】室温でのしきい電流値は第13の実施構造と同様であったが、n側のコンタクト抵抗が低くなり動作電圧が4.5Vに低減できたため、最高連続発振温度は60℃から80℃まで高くすることができた。信頼性試験も高温で試すことが可能となり、50℃で1000時間以上安定に動作するのを確認した。

【0131】(第15の実施形態)図24は、本発明の第15の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図である。ここでは、メサ構造付近の構造を拡大して示している。

【0132】図中450はn-GaNコンタクト層(Siドーパ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )、451はn-Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>Nクラッド層(Siドーパ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、0.6μm)、452は多重量子井戸構造(MQW)、Alキャップ層、光ガイド層を含む活性層部であり、厚さ0.1μmのGa<sub>2</sub>Nからなる光ガイド層を両側に有し、井戸層は3nm厚の $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層からなり、バリア層は厚さ6nmの $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ から構成される。井戸層は5層である。p側のガイド層とMQW層との間には、厚さ2nmのp-Al<sub>0.20</sub>Ga<sub>0.80</sub>N薄膜障壁層が挿入されている。453はp-Al<sub>0.08</sub>

26

Ga<sub>0.92</sub>Nクラッド層(Mgドーパ、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、0.6μm)、454はp-GaNコンタクト層(Mgドーパ、 $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、0.2μm)であり、最上部はMgを $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ に高濃度化されている。457はPt/Ti/Pt/Auからなるp側電極である。

【0133】459は本実施形態に係わる光吸収層であり、多重量子井戸(MQW)構造を採用している。井戸層は3nm厚の $\text{In}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$ 層からなり、バリア層は厚さ6nmのGa<sub>2</sub>Nから構成される。井戸層は10層である。各窒化物層は全て第13、第14の実施形態と同様にMOCVDにより成長を行った。成長条件等も同様である。

【0134】461も459と同様に光吸収層であり、n型MQW構造(井戸層:3nm厚の $\text{Si-In}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$ 、バリア層:厚さ6nmの $\text{Si-GaN}$ 、井戸層は10層)からなりその上にp-GaNコンタクト層462(Mgドーパ、 $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、0.5μm)を成長した。461、462はMOCVDによる選択成長を用いて作りつけた。温度は800℃とした。

【0135】本実施形態構造では、横モード制御用の層構造の全てが水平横モード、垂直横モード用共に半導体層で形成され、寸法制御に有利なだけでなく、信頼性も向上した。本実施形態では、しきい値75mAで室温連続発振した。発振波長は405nm、動作電圧は5.5Vであった。ビーム特性は単峰であり、歩留まり95%以上で非点隔差10μm以内の値が得られた。

【0136】なお、本発明は上述した第13~第15の実施形態に限られるものではなく、半導体層、基板としてSiCなども適用可能で、II-VI族化合物半導体、Si、Geなどを用いても良い。ここでは対象層をAlGaNとして記述したがIn、Ti、Si、C、Niなどの元素を混晶にならない不純物程度の量、含んでいても良い。構造もレーザのしきい値に悪影響を与えないものであれば種々の適用が可能である。その他、導波路構造、受光素子などの他の光デバイス分野へも適用が可能である。

【0137】(第16の実施形態)これ以降に示す実施形態(第16~第18)では、電極下部にInGaAlN層を有するレーザ構造において、電極接合部にAs、P又はAsとPを同時に含むInGaAlN層を形成するが、この構造を用いることが大きな意味を持つ。図25のように、従来、電極部bに対して発光部aが殆どバンドギャップ差がない構造に対し、この構造を用いるとa'がb'に対して大きなバンドギャップ差を持っている構造を作成することができる。この構造ではバンドギャップ差が大きくなり、結局、屈折率差が大きくなりクラッド層から漏れる光はなくなり、このため光の電磁波分布は活性層を中心に閉じ込められ、光閉じ込めは大きく改善される。従って、モードが安定した発振しきい値

の低い半導体レーザ装置が得られる。

【0138】図26は、本発明の第16の実施形態に係わる半導体レーザの概略構成を示す断面図である。

【0139】図中521はサファイア基板であり、522はn型GaN層、523はn型AlGaNクラッド層、524はアンドープGaN光ガイド層、525はInGaN/InGaNからなる量子井戸層である。526はp型GaN光ガイド層、527はp型AlGaNクラッド層である。528、529はそれぞれ、nとpの電極であり、共に3μm幅に狭窄している。

【0140】ここまでの基本構成に加え本実施形態では、電極コンタクト部にAsを含むコンタクト層501、502を設けている。501は、n型GaNA s層であり、502はp型GaNA s層である。結晶成長にはMOCVDを使用しており、501、502の各層を成長させる時のみ成長温度を他の膜に対し200度低くしている。全ての成長終了後、レジストを形成しパターンニングを行い、ドライエッチングによりn電極接合層を露出させた。さらに、p電極接合層を部分的に狭窄させた。

【0141】本実施形態のレーザでは、発光部領域と電極部側領域とのバンドギャップ差を大きくして、各領域間の屈折率差を大きくすることができ留。従って、クラッド層から漏れる光がなくなり、光閉じ込めが改善され、結果としてしきい値の低減をはかることができる。上記構成のレーザのしきい値は1kA/cm<sup>2</sup>であり、従来の1/5以下になっている。

【0142】(第17の実施形態)図27は、本発明の第17の実施形態に係わる半導体レーザの概略構成を示す断面図である。

【0143】図中531はサファイア基板であり、532はn型GaN層、533はn型AlGaNクラッド層、534はアンドープGaN光ガイド層、535はInGaN/InGaNからなる量子井戸層である。536はp型GaN光ガイド層、537はp型AlGaNクラッド層、538、539はそれぞれ、nとpの電極であり、p電極は3μm幅に狭窄している。

【0144】503はn型GaN P層であり、504はp型GaN P層である。結晶成長はMOCVDを使用しており、503、504の各層を成長させる時のみ成長温度を他の膜に対し200度低くしている。この構造のレーザのしきい値は、1kA/cm<sup>2</sup>であり、従来の1/5以下になっている。

【0145】(第18の実施形態)図28は、本発明の第18の実施形態に係わる半導体レーザの概略構成を示す断面図である。

【0146】図中541はサファイア基板であり、542はn型GaN層、543はn型AlGaNクラッド層、544はアンドープGaN光ガイド層、545はInGaN/InGaNからなる量子井戸層である。54

6はp型GaN光ガイド層、547はp型AlGaNクラッド層、548、549はそれぞれ、nとpの電極であり、p電極は3μm幅に狭窄している。

【0147】505はn型InGaNA s P層であり、506はp型InGaNA s P層である。結晶成長はMOCVDを使用しており、505、506の各層を成長させる時のみ成長温度を他の膜に対し200度低くしている。この構造のレーザのしきい値は、1kA/cm<sup>2</sup>であり、従来の1/5以下になっている。

10 【0148】なお、本発明は上述した第16～第18実施形態に限定されるものではない。実施形態では材料系としてGaN系を用いたが、仕様に応じて適宜変更可能である。また、同一基板上に複数の素子を集積化することも可能である。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施することができる。

【0149】(第19の実施形態)図29は、本発明の第19の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図である。

【0150】サファイア基板上610に、GaNからなるバッファ層611、Siドーパのn-GaNからなるn型コンタクト層612、Siドーパのn-GaNからなるn型クラッド層613、Siドーパのn-GaNからなるn型ガイド層614、バンドギャップエネルギーが異なり、それぞれの厚さが10nm以下の2種類のInAlGaN層の繰り返しで構成される周期構造からなる多重量子井戸構造からなるMQW活性層615、Mgドーパのp-GaNからなるp型ガイド層616、Mgドーパのp-AlGaNからなるp型クラッド層617、MgドーパのGaNからなるp型コンタクト層618、さらにその上部にp側電極622が形成されている。そして、p型コンタクト層618からn型コンタクト層612の途中まで部分的にエッチングされ、露出したn型コンタクト層612の表面にはn側電極621が形成されている。

【0151】ここで、p側ガイド層616、p側クラッド層617、p側コンタクト層618については、次のように厚さを設定する。p側ガイド層616は0.1μmとする。p側クラッド層617はAl<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nを0.05μm以下とし、省略してもよい。p側コンタクト層618はGaNを0.05μm以下とし、省略してもよい。

【0152】本実施形態のようにクラッド層617を0.05μm以下にした場合、図30に示すようにキャリアオーバーフローがクラッド層が厚い場合に比較して低減される。

【0153】また、従来FFPは図33のように多峰性を示す。各々はp-GaNコンタクト層618、n-GaNコンタクト層612の光閉じ込めに対応したピークを表している。しかし、本実施形態によるようにp-GaNコンタクト618を薄くすることにより、図34の

ようにFFPは単峰化する。

【0154】以上のようにして得た半導体レーザは、420nm付近の波長で室温連続発振し、そのしきい値は $1\text{ kA/cm}^2$ 以下であり、またレーザ発振におけるFFPは単峰であった。

【0155】(第20の実施形態)次に、本発明の第20の実施形態に係わる半導体レーザについて説明する。基本構成は第19の実施形態の図29と同様であり、これと異なる点は、p型ガイド層616、p型クラッド層617、p型コンタクト層618の構成である。

【0156】これらの層については、次のように厚さを設定する。まず、p側ガイド層616は $0.02\mu\text{m}$ 以下とし、省略してもよい。p側クラッド層617は $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ を $0.35\mu\text{m}$ とする。p側コンタクト層618は $\text{GaN}$ を $0.05\mu\text{m}$ 以下とし、省略してもよい。

【0157】本実施形態におけるようにガイド層616を $0.02\mu\text{m}$ 以下にした場合、図30に示すようにキャリアオーバーフローがガイド層が厚い場合に比較して低減される。以上のようにして得た半導体レーザは420nm付近の波長で室温連続発振し、そのしきい値は $1\text{ kA/cm}^2$ 以下であり、またレーザ発振におけるFFPは単峰であった。

【0158】(第21の実施形態)次に、本発明の第21の実施形態に係わる半導体レーザについて説明する。基本構成は第19の実施形態の図29と同様であり、これと異なる点は、p型ガイド層616の構成である。

【0159】本実施形態におけるp型ガイド層616は、 $\text{Mg}$ ドープのp- $\text{AlGaIn}$ 又は $\text{InGaIn}$ からなる。即ち、p側ガイド層616の組成は $\text{GaIn}$ とせず、 $\text{In}$ を5%以上、又は $\text{Al}$ を5%以上とする。p側コンタクト層618は $\text{GaIn}$ を $0.05\mu\text{m}$ 以下とし、省略してもよい。

【0160】図32においてガイド層組成を $\text{GaIn}$ から変えた場合のキャリアオーバーフローの計算結果を示す。ガイド層組成が $\text{GaIn}$ からずれるほどキャリアオーバーフローが低減されることが分かる。これは、ガイド層組成が $\text{AlGaIn}$ の場合は活性層とガイド層のヘテロ障壁が大きくなることから、またガイド層組成が $\text{InGaIn}$ の場合はガイド層とクラッド層とのヘテロ障壁が大きくなることからキャリアオーバーフローが低減されていると考えられる。

【0161】このように第19～21の実施形態によれば、p型ガイド層又はp型クラッド層を薄くし、かつp型コンタクト層を薄くすることにより、キャリアオーバーフローを低減すると共に、p型ガイド層、p型クラッド層、p型コンタクト層における光閉じ込め係数を減らしてこれらの層で生じる損失を低減し、しきい値を低減することができる。さらに、p型コンタクト層における光閉じ込め係数が減少するため、レーザ発振時のFFPの

他方性が低減できる。これらの効果によって、光ディスクなどへの実用に供する低しきい値、低電圧で動作し、高い信頼性を有する窒化ガリウム系化合物半導体レーザを実現することが可能となる。

【0162】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、クラックが少なく信頼性が高く、FFPが単峰性を示し、光ディスクなどへの実用に供する低しきい値、低電圧で動作する窒化ガリウム系化合物半導体レーザを実現することが可能となる。

【0163】より具体的には、(課題を解決するための手段)の項で示した、(1)の発明によれば、ダブルヘテロ構造を構成するクラッド層の活性層と反対側に $\text{InGaIn}$ 等の光吸収層又は屈折率の低い $\text{AlGaIn}$ 等の低屈折率層を設けることによって、高次モードを発振を抑制し、FFPの単峰化を可能にすることができ、これにより発振しきい値も低くすることが可能となる。

【0164】(2)の発明では、活性層を挟む導電性の異なるクラッド層の外側に発振光に透明な光吸収層を設けることにより、横モードは反導波であるが、クラッド層の外側への染み出した光を吸収させることができる。さらに、同様に反導波構造である活性層水平方向においても埋め込み成長による光吸収層により染み出し光を吸収させることができる。これにより、共振器内での波面が共振器方向に垂直になり、FFPは単峰になり且つ拡がり角が抑制でき、さらには非点隔差を小さくすることができる。

【0165】(3)の発明によれば、ダブルヘテロ構造を挟んで該構造の両側に、素子の中で膜厚が最も厚い層に対して略格子整合し、かつ活性層から発光される光のエネルギーよりも低いバンドギャップエネルギーを持つ光吸収層を設けることによって、クラッド層を通過した光を光吸収層により急激に減衰させることができ、レーザ発振時に光を閉じ込めモードが立ち易くなる。これにより、光ディスクやレーザプロジェクトに用いられるFFPが1つのピークを持つレーザを実現することが可能となる。

【0166】(4)の発明によれば、活性層のバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有する $\text{In}$ を含む光吸収層を、ダブルヘテロ構造よりも基板側に設けることにより、活性層から基板側にしみ出す光を十分に吸収することができ、これにより低しきい値化及び横モードの安定化をはかることができる。

【0167】(5)の発明によれば、電極下部に $\text{As}$ 、 $\text{P}$ を含む $\text{InGaAlIn}$ 等のコンタクト層を形成することにより、活性層と電極部とに大きなバンドギャップ差を形成することができ、これによりクラッド層から漏れる光をなくして光閉じ込めを改善し、モードの安定化及び発振しきい値の低減化をはかることができる。

【0168】(6)の発明によれば、p側ガイド層又は

10

20

30

40

50

p側クラッド層をn側のそれより薄く形成することにより、キャリアオーバーフローが低減でき、キャリアの注入効率を向上することができる。このため、活性層におけるキャリアの注入効率が向上でき、低しきい値化をはかることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図。

【図2】近視野像(NFP)の位置依存性を示す図。

【図3】光吸収層及び導波モード制御層を設けた場合のしきい値変化を示す図。

【図4】従来構造の遠視野像(FFP)と本発明におけるFFPとを比較して示す図。

【図5】高次モード発振時の次数によるしきい値変化を示す図。

【図6】第1の実施形態における半導体レーザにおいて、光導波モード制御層が複数存在する場合の各層の間隔を示す図。

【図7】第2の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図。

【図8】第3の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図。

【図9】第4の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図。

【図10】第5の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図。

【図11】第6の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図。

【図12】第7の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図。

【図13】第8の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図。

【図14】第9の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図。

【図15】第10の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図。

【図16】発振時のFFPを従来例と比較して示す図。

【図17】第11の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図。

【図18】第12の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図。

【図19】格子定数とバンドギャップエネルギーとの関係を示す図。

【図20】格子定数の里信頼性との関係を示す図。

【図21】第13の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図。

【図22】第13の実施形態の原理を説明するための

図。

【図23】第14の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図。

【図24】第15の実施形態に係わる青色半導体レーザの概略構成を示す断面図。

【図25】第16～18の実施形態における作用を説明するための図。

【図26】第16の実施形態に係わる半導体レーザの概略構成を示す断面図。

【図27】第17の実施形態に係わる半導体レーザの概略構成を示す断面図。

【図28】第18の実施形態に係わる半導体レーザの概略構成を示す断面図。

【図29】第19の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図。

【図30】キャリアオーバーフローのクラッド層厚依存性を示す図。

【図31】キャリアオーバーフローのガイド層厚依存性を示す図。

20 【図32】キャリアオーバーフローのガイド層組成依存性を示す図。

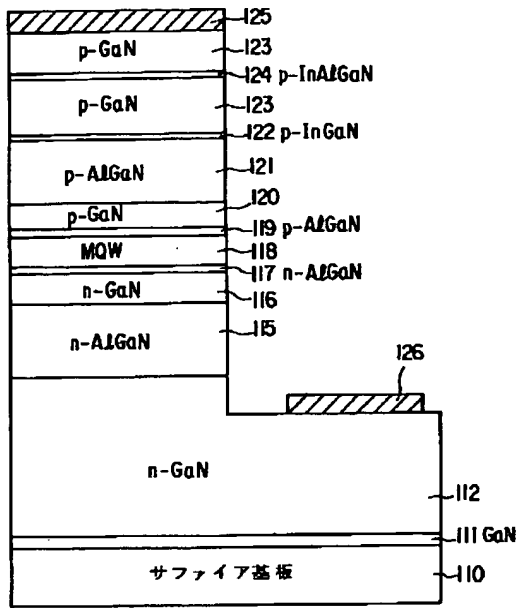
【図33】従来構造におけるレーザ発振のFFPを示す図。

【図34】第16の実施形態におけるレーザ発振のFFPを示す図。

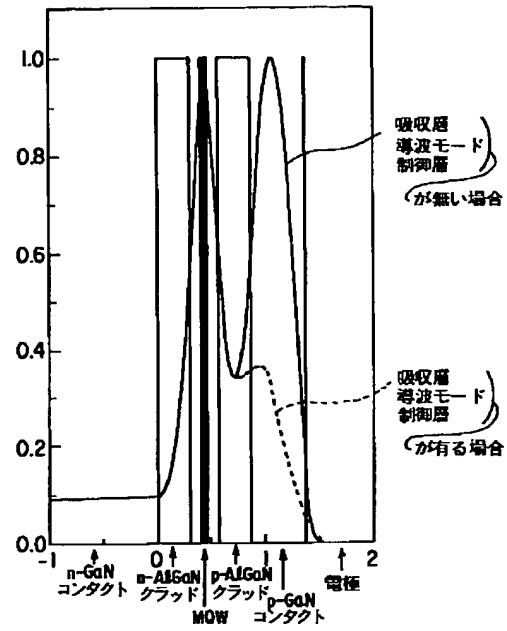
【符号の説明】

- 110…サファイア基板
- 111…Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nバッファ層
- 112…n-GaNコンタクト層
- 30 113…n-InGa<sub>0.5</sub>N又はAlGa<sub>0.5</sub>N光導波モード制御層
- 114…n-InGa<sub>0.5</sub>N光吸収層
- 115…n-AlGa<sub>0.5</sub>Nクラッド層
- 116…n-GaN又はInGa<sub>0.5</sub>Nガイド層
- 117…n-AlGa<sub>0.5</sub>N薄膜障壁層
- 118…InGa<sub>0.5</sub>N-MQW活性層
- 119…p-AlGa<sub>0.5</sub>N薄膜障壁層
- 120…p-GaN又はInGa<sub>0.5</sub>Nガイド層
- 121…p-AlGa<sub>0.5</sub>Nクラッド層
- 40 122…p-InGa<sub>0.5</sub>N光吸収層
- 123…p-GaNコンタクト層
- 124…p-InGa<sub>0.5</sub>N又はAlGa<sub>0.5</sub>N光導波モード制御層
- 125…p側電極
- 126…n側電極
- 127…n-GaN又はAlGa<sub>0.5</sub>N電流ブロック層

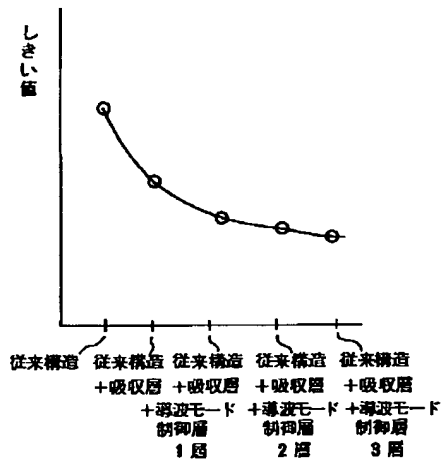
【図1】



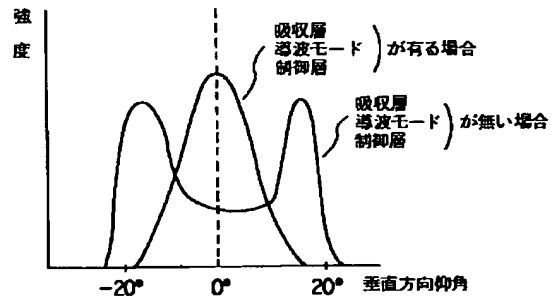
【図2】



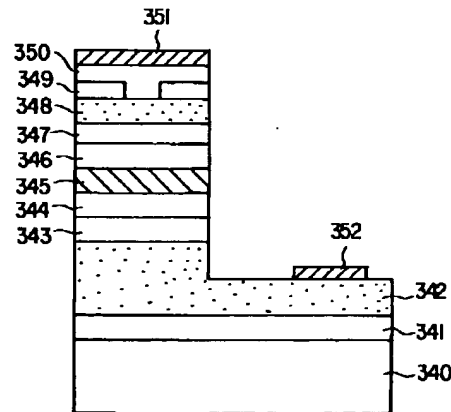
【図3】



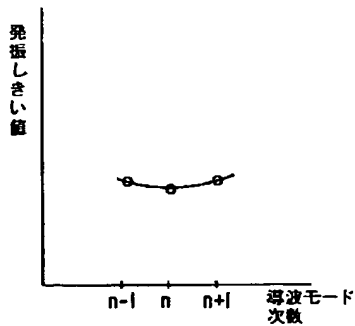
【図4】



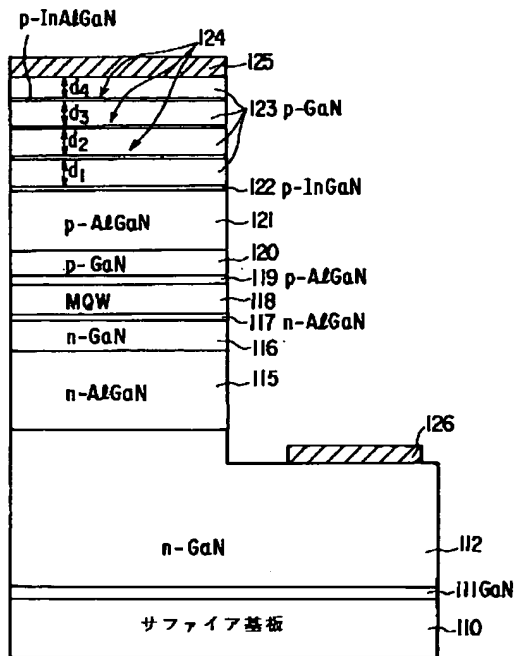
【図15】



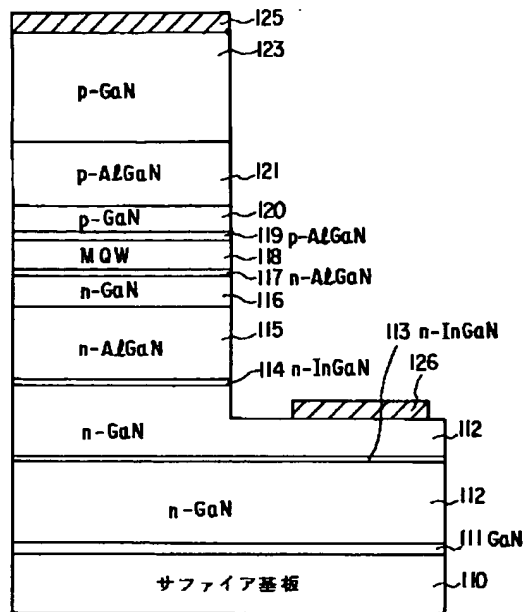
【図5】



【図6】

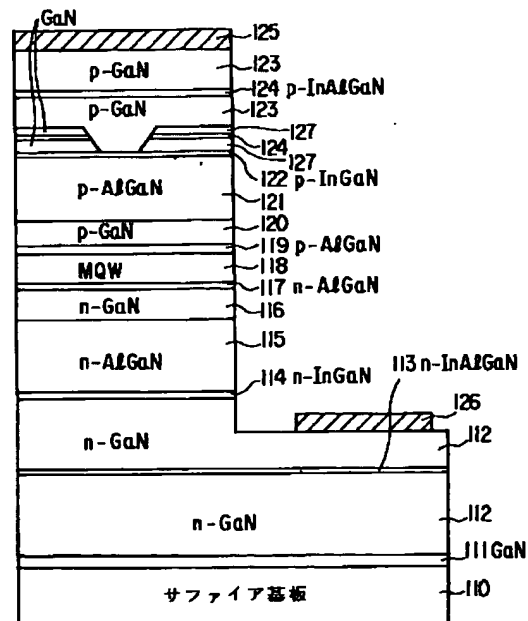
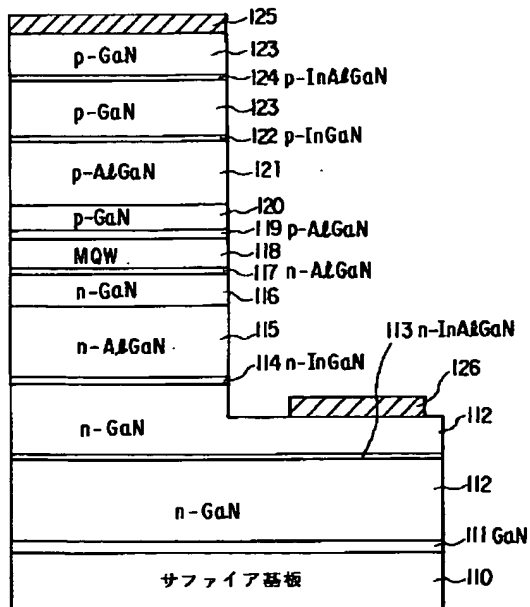


【図7】

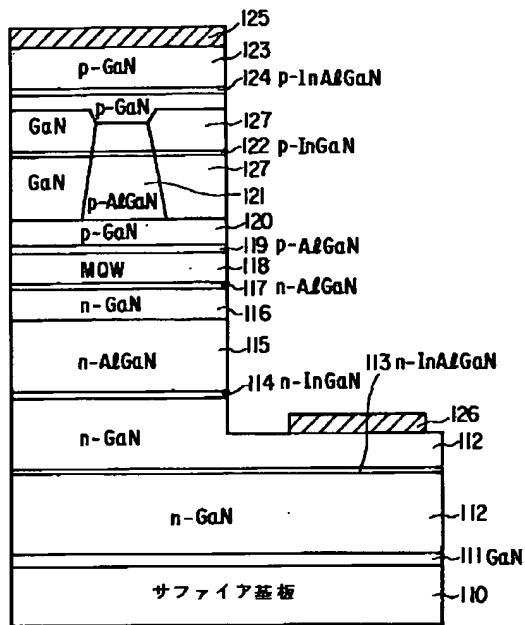


【図9】

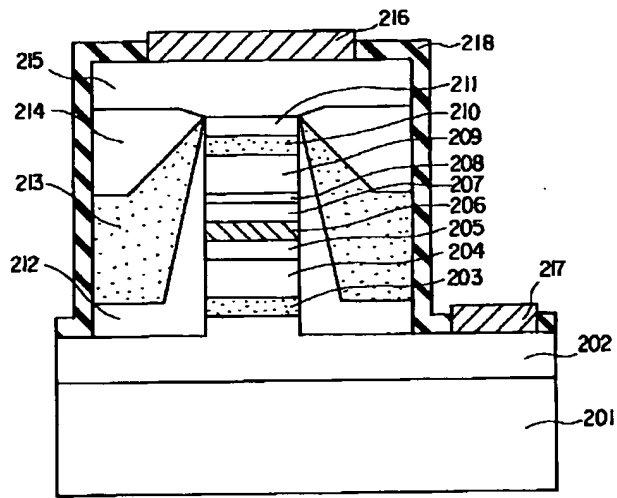
【図8】



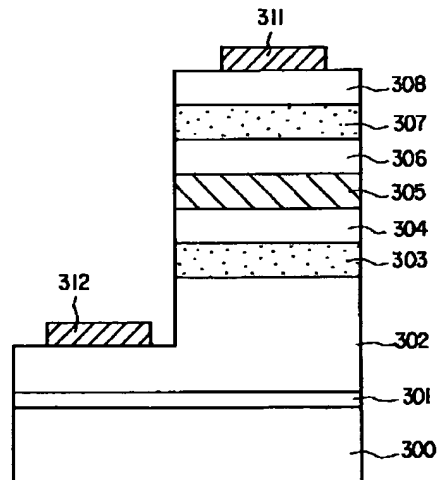
【図10】



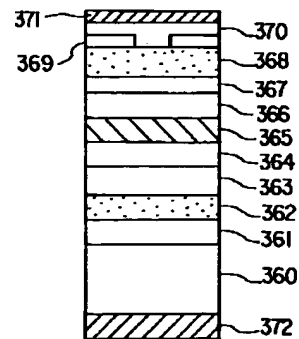
【図11】



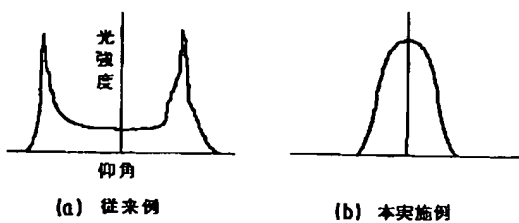
【図13】



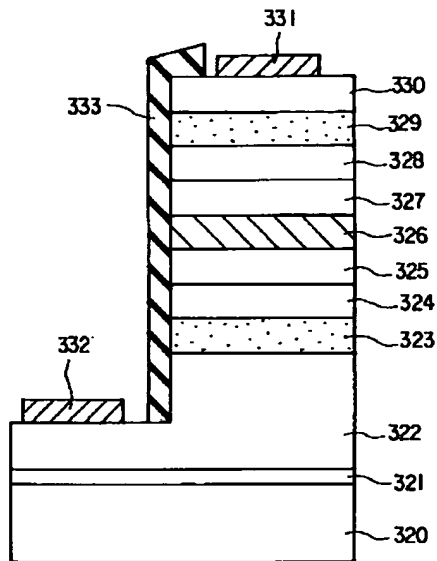
【図17】



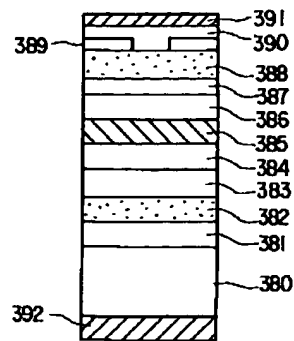
【図16】



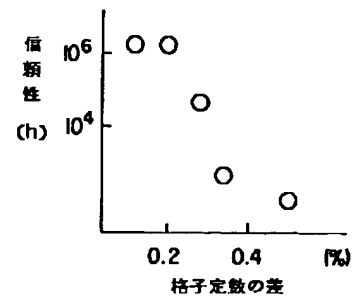
【図14】



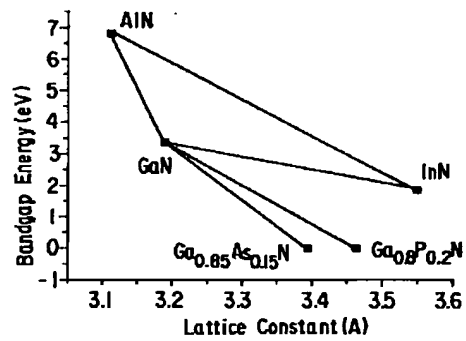
【図18】



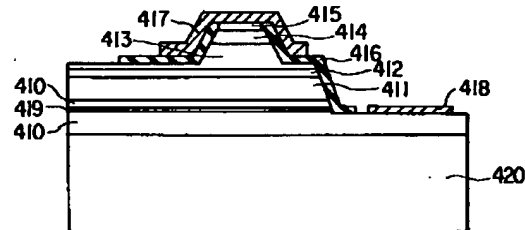
【図20】



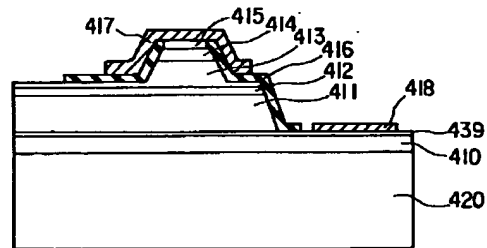
【図19】



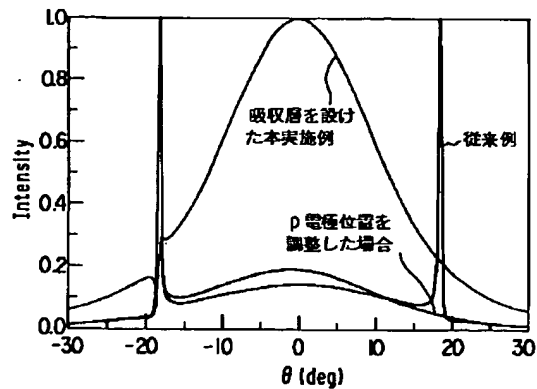
【図21】



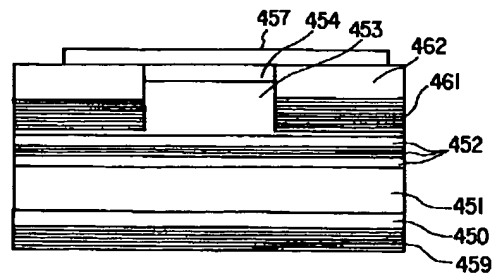
【図23】



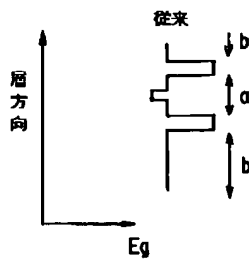
【図22】



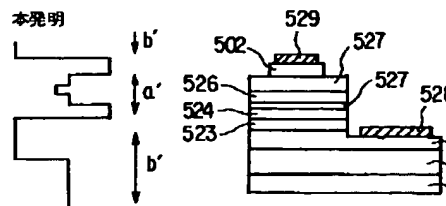
【図24】



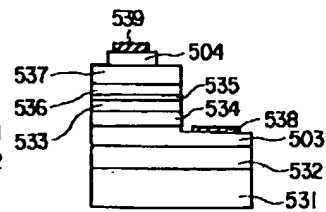
【図25】



【図26】

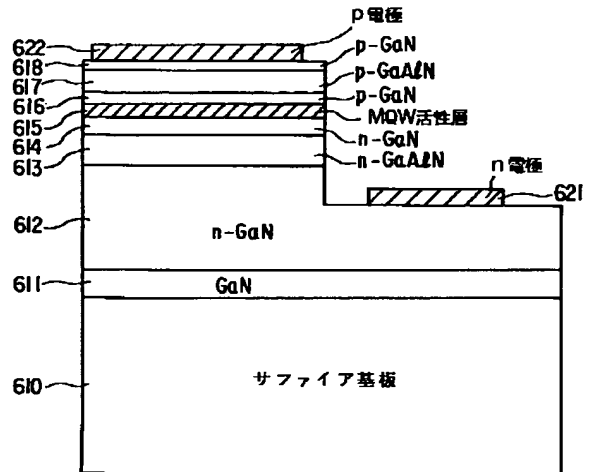
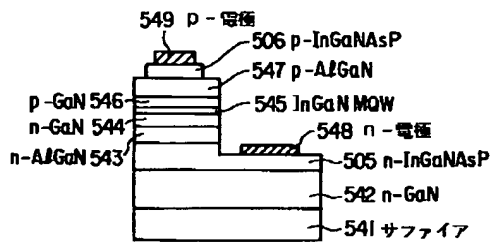


【図27】

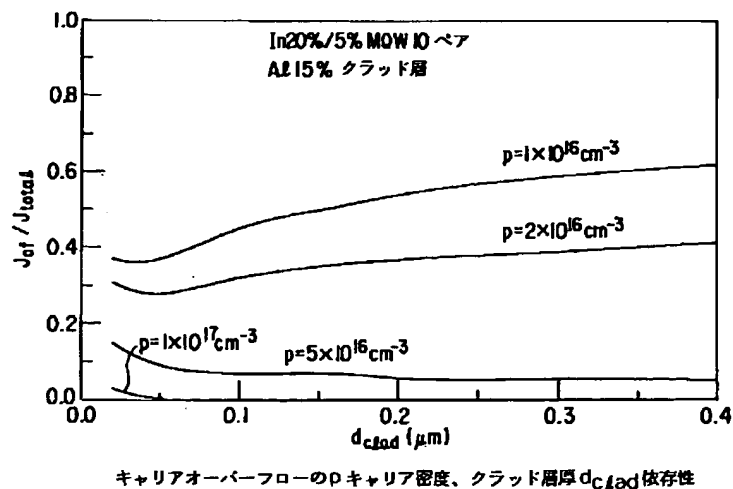


【図29】

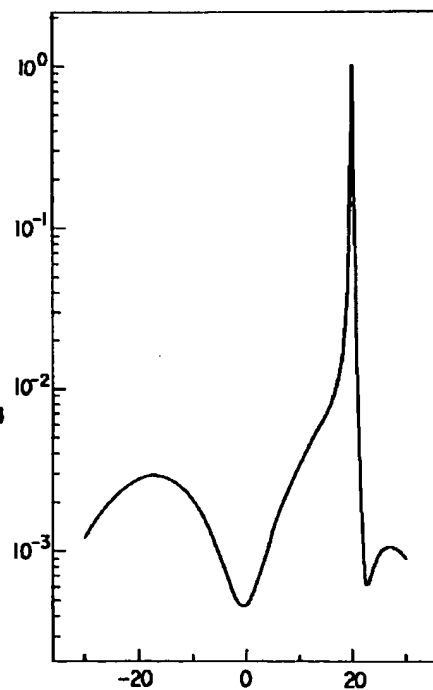
【図28】



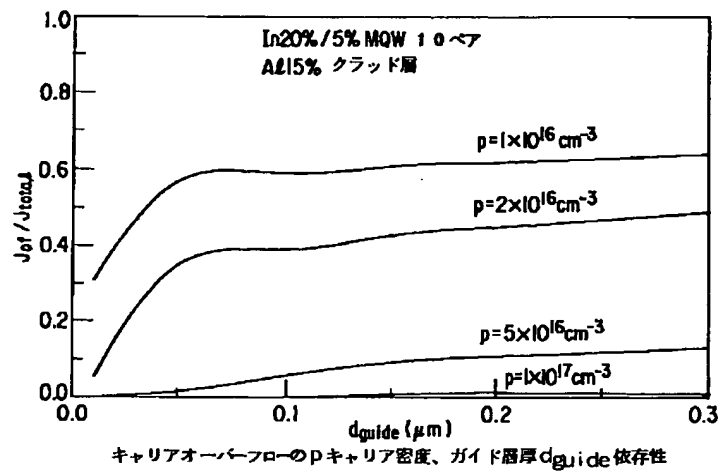
【図30】



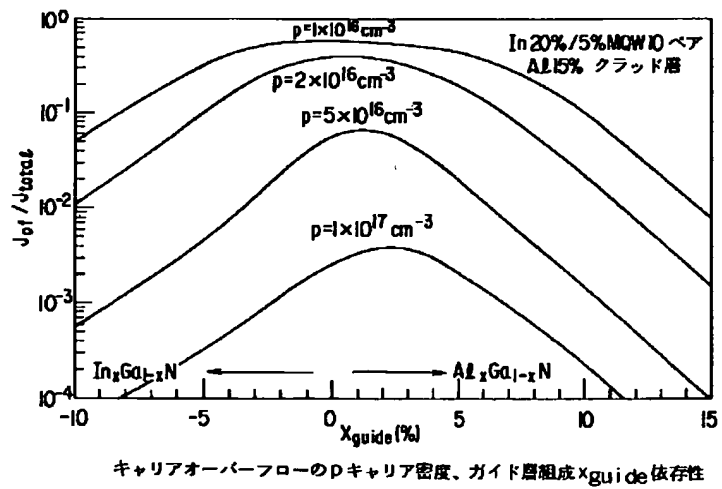
【図33】



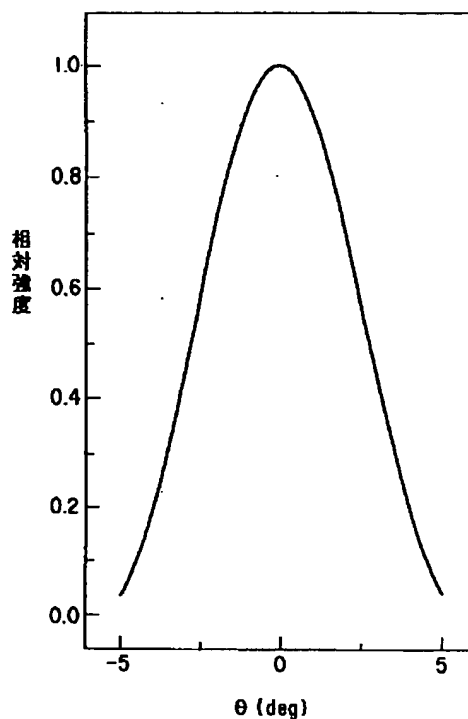
【図31】



【図32】



【図34】



フロントページの続き

(72)発明者 波多腰 玄一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 小野村 正明

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 山本 雅裕

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 杉浦 理砂

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 中筋 幹夫

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 藤本 英俊

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 布上 真也

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内